



## **Medição e simulação da temperatura representativa da copa de uma árvore aquando da ocorrência de geada e previsão de prejuízos**

**Carlos Francisco Vaz Simão Ferreira Soares**

Dissertação para a obtenção do Grau Mestre em  
**Engenharia Agronómica**

Orientador: Doutor José Paulo Mourão de Melo e Abreu, Professor associado com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais:

Doutor José Paulo Mourão de Melo e Abreu, Professor associado com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa,

Doutor Miguel António Leão de Sousa, Investigador auxiliar do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

Doutor Nuno Miguel Santos da Conceição, Investigador do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## Agradecimentos

Ao Professor Doutor José Paulo Mourão de Melo e Abreu, por todo o apoio, interesse, disponibilidade e preocupação ao longo de todo o trabalho.

Ao Doutor Nuno Conceição pela ajuda na preparação do material para a instalação do ensaio.

À Sociedade Agrícola da Quinta dos Lamaçais, pela disponibilização do local para instalação do ensaio.

À Associação de Agricultores para Produção Integrada de Frutos de Montanha, pelo interesse e ajuda na identificação de um local apropriado à instalação do ensaio.

À Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, pela disponibilização dos dados da estação meteorológica dos Lamaçais.

Aos amigos que acompanharam e tornaram melhor este percurso no Instituto Superior de Agronomia, desejando que os encontros, por poucos que possam vir a ser, não deixem de acontecer.

Finalmente, aos meus pais, pela paciência indescritível, por não me terem deixado cair e por permitirem que esta etapa tenha começado e acabado.

## Resumo

O aumento das temperaturas médias verificado a nível global, pode, paradoxalmente, conduzir a um aumento dos danos provocados por geadas, nas culturas agrícolas. A diminuição da época de geadas, decorrente desse aumento de temperatura, pode não ser suficiente para compensar a tendência para o avanço da floração das culturas, que se tem verificado nas últimas décadas e que previsivelmente continuará a ocorrer.

Assim, é possível que cada vez mais, seja importante conhecer os métodos disponíveis de luta contra geadas e forma de os utilizar corretamente. Neste ponto, coloca-se o obstáculo, das decisões relativas à proteção, serem tomadas com base na temperatura do ar, e não dos órgãos vegetais a proteger, que muitas vezes é inferior a esta, aumentando a possibilidade de se verificarem estragos, mesmo tendo à disposição, métodos para os prevenir.

Para fazer face a este problema, foi construído um protótipo de um sensor para estimar a temperatura das flores, usado também para construir o perfil vertical da temperatura, dentro da copa da árvore. Foram ainda, validados dois modelos, um deles para previsão da temperatura mínima do ar e outro para previsão do curso da temperatura do ar, ao longo da noite.

O protótipo foi capaz de estimar corretamente a temperatura da flor, pelo que poderá ser uma alternativa útil à monitorização das temperaturas das flores.

Verificou-se que verticalmente, a temperatura mínima ocorre, aproximadamente ao nível médio da cultura.

**Palavras-chave:** proteção contra geadas, temperatura mínima, temperatura da copa, temperatura da flor, perfil vertical da temperatura.

## Abstract

The increase in average temperatures, observed worldwide, can, surprisingly, lead to an increase on the damage caused by frost, on crops. The diminishing frost season might not be enough to compensate for the advance of blooming of crops, that have been observed on the last decades and are expected to continue to occur.

Considering this, it's more important than ever, to know what methods there are available to protect against frost and how to use them correctly. Here, we face a problem, considering that the decisions, when it comes to frost protection, are based on air temperature measures, instead of vegetative organs temperatures, that might be lower, leading to a higher possibility of damage to crops, even when the methods to protect them are available.

To tackle this issue, a prototype of a sensor was built, to provide as estimation of flower temperatures, and to create a vertical temperature profile, inside the tree canopy. Two models were validated, one of them to predict the minimum air temperature, the other to predict the course of air temperature, during the night.

The prototype was able to correctly estimate the flower temperature, meaning it can be a useful alternative to flower temperature monitoring.

It was observed, that vertically, the minimum temperature occurs at, approximately, the crop's medium level.

**Palavras-chave:** frost protection, minimum temperature, canopy temperature, flower temperature, vertical temperature profile.

# Índice

1 Introdução .....	1
2 Revisão bibliográfica .....	3
2.1 Geadas .....	3
2.2 Balanço da radiação .....	5
2.3 Estimativa da temperatura da folha.....	6
2.4 Termopares .....	10
2.5 Proteção contra geadas.....	11
2.5.1 Ventiladores .....	12
2.5.2 Aspersores .....	13
3 Material e métodos.....	16
3.1 Localização.....	16
3.2 Caracterização do clima.....	16
3.3 Classificação climática de Köppen-Geiger .....	18
3.4 Classificação climática de Thornthwaite.....	18
3.5 Balanço Hídrico .....	18
3.6 <i>Data logger</i> .....	19
3.7 <i>Multiplexer</i> .....	20
3.8 Descrição dos instrumentos de medição de temperatura construídos.....	21
3.9 Previsão da temperatura mínima .....	23
3.10 Previsão do curso da temperatura .....	23
3.11 Previsão de prejuízos .....	25
3.13 Delineamento experimental e sistema de aquisição de dados .....	25
3.14 Calibração e validação dos modelos.....	26
3.15 Tratamento estatístico.....	27
4 Resultados e discussão.....	29
4.1 Perfil vertical da temperatura .....	29
4.2 Flor <i>versus</i> protótipo .....	30
4.3 Ar <i>versus</i> flor.....	34

4.4 Previsão da temperatura mínima .....	36
4.5 Previsão do curso da temperatura .....	37
4.6 Previsão e avaliação de prejuízos.....	39
5. Conclusões .....	41
6. Referências bibliográficas .....	42

## Índice de figuras

Figura 1 – Ventilador estacionário e portátil .....	12
Figura 2 - Aspersão, em vinha .....	15
Figura 3 - Imagem topográfica do local do ensaio. Escala 1:15580.....	16
Figura 4 - Climograma para um ano médio, em Caria .....	17
Figura 5 – <i>Data logger</i> CR1000.....	20
Figura 6 – Multiplexer AMT25.....	20
Figura 7 - Cabo termopar usado nos protótipos .....	21
Figura 8 - Cabo termopar usado nas flores .....	21
Figura 9 - a) esquema da construção da parte inferior do protótipo. b) esquema da construção da parte superior do protótipo. c) esquema das duas partes do protótipo em conjunto. d) foto do protótipo construído.....	22
Figura 10 - Esquema da instalação dos protótipos e termopares .....	26
Figura 11 - Perfil vertical horário das temperaturas dentro da copa, na noite de 15 para 16 de Abril. As horas são relativas ao pôr do sol.....	29
Figura 12 - Perfil vertical da temperatura dentro da copa, aquando da temperatura mínima, nas noites de: a) 21 Março, b) 22Março, c) 28 Março, d) 29 Março, e) 30 Março, f) 11 Abril, g) 15 Abril, h) 3 Maio .....	30
Figura 13 - Temperaturas registadas no protótipo e na flor. A reta vertical indica o nascer do sol .....	31
Figura 14 - Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, para obter a reta de calibração dos protótipos.....	31
Figura 15 - Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, para avaliar a exatidão das medidas dos protótipos .....	32
Figura 16 – Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, para avaliar a exatidão das medidas dos protótipos, à temperatura mínima.....	33
Figura 17 - Temperaturas registadas na flor e no ar. A reta vertical representa o nascer do sol .....	34
Figura 18 - Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, da temperatura das flores <i>versus</i> a temperatura do ar .....	35

Figura 19 - Temperatura mínima estimada versus temperatura mínima observada, usando o modelo da aplicação FFST.xls .....	36
Figura 20 - Curso dos valores estimados (linha azul) e observados (linha laranja) da temperatura do ar, nas noites de: a) 21 Março, b) 22Março, c) 28 Março, d) 29 Março, e) 30 Março, f) 11 Abril, g) 15 Abril, h) 3 Maio .....	37
Figura 21 - Temperatura estimada do ar <i>versus</i> temperatura observada do ar, usando o modelo de Goudriann e Van Laar.....	38



## Índice de quadros

Quadro 1 - Temperaturas críticas (°C), em macieira .....	3
Quadro 2 - Estatísticas relativas ao risco de ocorrência de geadas, num ano médio, em Caria .....	17
Quadro 3 - Balanço hídrico.....	19
Quadro 4 - Análise da regressão ortogonal, pelo método de Deming, da temperatura da flor <i>versus</i> a temperatura do protótipo, no conjunto de calibração, para obtenção da reta de calibração.....	32
Quadro 5 - Regressão ortogonal, pelo método de Deming, para avaliação da exatidão das medidas dos protótipos .....	32
Quadro 6 - Teste de hipóteses para a reta de regressão ortogonal.....	33
Quadro 7 - Análise da regressão ortogonal, pelo método de Deming, da temperatura da flor <i>versus</i> a temperatura do ar .....	35
Quadro 8 - Teste de hipóteses para a reta de regressão ortogonal.....	35
Quadro 9 - Análise da regressão linear da temperatura mínima estimada <i>versus</i> a temperatura mínima observada.....	36
Quadro 10 - Análise da regressão linear da temperatura estimada do ar <i>versus</i> a temperatura observada do ar, e da eficiência do modelo, em oito noites frias e com condições de pronunciado arrefecimento noturno.....	38
Quadro 11 - Previsão de estragos, de acordo com a aplicação DEST .....	39
Quadro 12 - Previsão de estragos, de acordo com a aplicação DEST, numa variedade, com início de floração 7 dias mais cedo.....	40

# Lista de abreviaturas

## Alfabeto latino

$A$	Albedo do termopar (-)
$a$	Deriva solar sazonal, em relação ao Equador (-)
$b$	Seno da amplitude da altura solar (-)
$c_p$	Calor específico do ar a pressão constante ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )
$D$	Deficit de vapor da atmosfera (kPa)
$d$	Duração do dia (h)
$e_a$	Tensão real do vapor de água (kPa)
$E_{L\downarrow}$	Radiação de grande comprimento de onda proveniente do meio ( $\text{W m}^{-2}$ )
$e_s(T_L)$	Tensão de saturação do vapor à temperatura $T_L$ (kPa)
$E_{s\downarrow}$	Radiação de origem solar que chega ao termopar ( $\text{W m}^{-2}$ )
$ET_p$	Evapotranspiração potencial mensal (mm)
$ET_r$	Evapotranspiração real mensal (mm)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
$g_{Ha}$	Condutividade para o calor da camada limite ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$g_{Hr}$	Condutividade condutiva-radiativa ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$g_r$	Condutividade radiativa ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$g_v$	Condutividade para o vapor ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$h$	Coeficiente de transferência térmica do termopar (-)
$H$	Perda de calor sensível por convecção ( $\text{W m}^{-2}$ )
INA	Ativas na nucleação de gelo (ice nucleation-active)
$L_{\uparrow}$	Radiação emitida pela superfície terrestre ( $\text{W m}^{-2}$ )
$L_{\downarrow}$	Radiação terrestre emitida pela atmosfera ( $\text{W m}^{-2}$ )
$L_n$	Balanço de radiação de longo comprimento de onda ( $\text{W m}^{-2}$ )

$L_{oe}$	Radiação térmica emitida a partir da superfície ( $W m^{-2}$ )
$n$	Duração da noite (h)
$P$	Precipitação (mm)
$p_a$	Pressão atmosférica (kPa)
$p$	Tempo entre o meio dia solar e a temperatura mínima (h)
$R_{abs}$	Radiação absorvida ( $W m^{-2}$ )
$R_n$	balanço de radiação ( $W m^{-2}$ )
$S_n$	Balanço de radiação de curto comprimento de onda ( $W m^{-2}$ )
$S_{\uparrow}$	Radiação solar refletida ( $W m^{-2}$ )
$S_{\downarrow}$	Radiação solar global ( $W m^{-2}$ )
$T_c$	Temperatura crítica ( $^{\circ}C$ )
$T_o$	Temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}C$ )
$t_d$	Dia do ano (-)
$t_h$	Hora solar (h)
$T_{K,a}$	Temperatura do ar (K)
$T_{K,s}$	Temperatura da superfície (K)
$T_{K,L}$	Temperatura da folha (K)
$T_{min}$	Temperatura diária mínima ( $^{\circ}C$ )
$T_{K,ref}$	Temperatura na junção de referência (K)
$t_r$	Hora solar do nascer do sol (h)
$t_{sset}$	Hora solar do pôr do sol (h)
$T_{sset}$	Temperatura ao pôr do sol ( $^{\circ}C$ )
$T_{K,T}$	Temperatura da junção de medição do termopar (K)
$T_w$	Temperatura do bolbo molhado ( $^{\circ}C$ )
TC	Coeficiente de tempo noturno (h)
$V$	Voltagem ( $\mu V$ )

VBF Ventilador de sopro vertical

Alfabeto grego

$\alpha$  Coeficiente de Seebeck (-)

$\Delta A$  Variação do armazenamento (-)

$\delta$  Declinação solar em relação ao Equador (-)

$\varepsilon$  Emissividade do termopar (-)

$\varepsilon_s$  Emissividade da superfície (-)

$\lambda$  Latitude (°)

$\lambda E$  Perda de calor latente por evaporação ( $\text{W m}^{-2}$ )

$\sigma$  Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

# 1 Introdução

Verifica-se geralmente, a nível mundial, um aumento das temperaturas médias, com o início cada vez mais precoce da primavera, que resulta num adiantamento da floração e período de crescimento das culturas cada vez mais alargado, e as previsões são para que este fenómeno continue a ocorrer (Potopová *et al.*, 2014; Hayhoe *et al.*, 2018; Unterberger *et al.*, 2018).

A precocidade verificada no abrolhamento, pode, no entanto, tornar as plantas mais vulneráveis a geadas, já que a antecipação da última geada primaveril, não será suficiente para compensar a antecipação do abrolhamento (Heide, 1993; Li *et al.*, 2014; Sgubin *et al.*, 2018).

Não obstante o aumento médio das temperaturas, em determinadas zonas do Mundo verifica-se o aumento do número de episódios de geada. Tanto no Sudoeste como no Sudeste Australiano, o número de noites de geada aumentou no período entre 1980 e 2011, fim do Inverno e Primavera. Aponta-se como principal responsável, o aumento de secura, que resulta em menor precipitação, com noites claras, propícias à ocorrência de geadas de radiação (Dittus *et al.*, 2014). Nesta zona, em 2014, a época de geadas, aumentou em média, 26 dias face ao período entre 1960 e 1990 (Crimp *et al.*, 2016).

As geadas constituem o maior fenómeno ambiental de perdas económicas em fruticultura e horticultura (Rodrigo, 2000). Estima-se que anualmente, as geadas conduzem a prejuízos de 240 milhões € na indústria dos cereais, na Austrália (GRDC, 2016). Em 2017, geadas primaveris, reduziram a produção Europeia de maçãs em 23%, levando a um aumento dos preços (European Commission, 2019). Em 2013, 85% da produção de pêsegos na região de Mendoza, Argentina, foi perdida, resultando em prejuízos de aproximadamente 77 milhões € (Watteyne *et al.*, 2016).

Para proteção face às geadas, os produtores contam com métodos de luta passiva (antes da ocorrência de geadas) e de luta ativa (durante a noite de geada). Na luta ativa, procura-se aumentar a temperatura a que a vegetação está sujeita para prevenir danos, através de métodos como o aquecimento direto do ar, mistura do ar com ventiladores, ou rega por aspersão. Neste caso, é necessário tomar uma decisão de quando iniciar a luta, que geralmente é feita tendo em conta medições, ou previsões da temperatura do ar do local em causa (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

No entanto, as temperaturas dentro das copas, dos gomos, flores ou pequenos frutos, podem diferir bastante, da temperatura do ar, medida numa estação comum, consoante a altura ao solo, a exposição ao céu, horizontalidade ou verticalidade, humidade e cor do solo e

densidade da copa (Leuning e Cremer, 1988; Charrier *et al.*, 2015; De Melo-Abreu, 2018a; Quiñones *et al.*, 2019).

Tomar decisões com base em dados que não correspondem à temperatura dos órgãos vegetais a proteger, pode levar a que se atue tardiamente, não prevenindo danos causados pelas geadas, ou demasiado cedo, desperdiçando recursos. Surge assim, a ideia de construir um protótipo que faça a medição da temperatura a que os órgãos da planta estão efetivamente sujeitos e estudar a pertinência do seu uso, de modo a obter informação correta e atuar na luta contra geadas no momento certo.

Pretende-se, também, em noites de geada de radiação, fazer uma simulação do arrefecimento noturno e das diferenças relativas ao tipo de termómetro e sua posição e fazer uma previsão do curso da temperatura do ar. Serão comparadas as temperaturas nas flores das macieiras com as temperaturas do ar, será estudada a exatidão do protótipo, para estimar a temperatura das flores. Os dados de humidade, serão estimados, através dos registos obtidos pela Estação Meteorológica de Covilhã-Teixoso-Lamaçais da Estação de Avisos de Castelo Branco, a aproximadamente 900 m do local do ensaio.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 Geadas

Existem várias definições de “geada”, pelo que neste trabalho, se considera a definição da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Uma geada ocorre quando a temperatura do ar, medida em abrigo entre 1,25 e 2 m de altura, é igual ou inferior a 0 °C. As temperaturas negativas, podem ocorrer devido a geadas de radiação, geadas de advecção, ou ainda por uma combinação dos dois processos (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

As geadas de radiação, ocorrem por perda líquida de energia da superfície radiativa e estão associadas a condições noturnas de céu limpo, vento calmo, inversão de temperatura e temperatura do ponto de orvalho ( $T_o$ ) baixa. A temperatura do ponto de orvalho, atinge-se quando o ar é arrefecido, até atingir 100% de humidade relativa, ou seja, quando se começa a dar a condensação da água presente no ar. Geralmente, a temperatura na atmosfera diminui com a altitude. O fenómeno de inversão de temperatura dá-se quando a temperatura aumenta com a altitude. As geadas de radiação estão associadas a fenómenos de inversão, ou seja, à subida de temperatura com altitude, até que a temperatura volta a diminuir com a altitude. Na prática calcula-se a força da inversão, como a diferença entre a temperatura a 10 m e 1,5 m. Uma inversão forte apresenta uma diferença maior entre os dois valores (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

Quando as plantas estão sujeitas, durante 30 minutos, a uma determinada temperatura, que conduz a uma determinada percentagem de danos, estamos perante a temperatura crítica ( $T_c$ ), que leva a um processo irreversível de mau funcionamento e morte das células. Por exemplo,  $T_{90}$  para as flores de macieira, corresponde à temperatura crítica que leva à morte de 90% dessas flores (Snyder e De Melo-Abreu, 2005). Um exemplo de  $T_c$  para a cultura da macieira pode ser observado no Quadro 1.

*Quadro 1 - Temperaturas críticas (°C), em macieira. Fonte: Snyder e De Melo-Abreu (2005).*

Estado	Pré Abrolhamento	Ponta verde	Botão verde	Botão rosa	Início da floração	Floração plena	Após floração
$T_{10}$ (°C)	-11,9	-7,5	-3,9	-2,7	-2,3	-2,9	-1,9
$T_{90}$ (°C)	-17,6	-15,7	-7,9	-4,6	-3,9	-4,7	-3,0

A resistência das plantas face às baixas temperaturas, é elevada durante o período de dormência. Nesta fase, a  $T_c$  que resulta na morte de 50% dos gomos ( $T_{50}$ ) em cerejeiras e

pessegueiros, não é superior a  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pelo que durante esta fase, não é expectável que se verifiquem danos em Portugal (De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010). Após o abrolhamento, a  $T_c$ , aumenta continuamente até ao vingamento, mas dependentemente de fatores como a espécie, cultivar, do pomar e verificam-se variações dentro da mesma árvore, pelo que não se considera uma variável biológica (Rodrigo, 2000). A diferença  $T_{10}-T_{90}$  diminui ao longo do ciclo da planta, atingindo o mínimo no vingamento (De Melo-Abreu *et al.*, 2016).

Esta variação da  $T_c$ , reflete o diferente grau de geado-resistência, durante o ciclo das plantas. Por outro lado, para um dado estado de desenvolvimento, um período de temperaturas baixas conduz a uma diminuição da  $T_c$  (i.e., aclimação). Ao invés, um período com temperaturas mais amenas, resulta na perda da aclimação (i.e., desaclimação) (De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010).

Flutuações de temperatura, antes e durante a floração podem influenciar a tolerância da flor às baixas temperaturas, já que temperaturas baixas podem aumentar essa tolerância, enquanto temperaturas amenas a diminuem (Rodrigo, 2000). Uma diminuição gradual de temperatura induz maior resistência aos danos provocados pelas geadas, por oposição a arrefecimentos bruscos (Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2014).

A geladura (dano causado pela geada), é devida à formação de gelo extracelular, dentro dos tecidos das plantas. A formação de gelo extracelular, leva à perda de água do interior das células, para o seu exterior, dado que a tensão de saturação de vapor de água sobre o gelo é inferior à tensão de saturação sobre a água. A perda de água verificada, faz com que a concentração de solutos aumente, e consequentemente, o ponto de fusão diminua. Contudo, se o processo de perda de água se prolongar no tempo, as células ultrapassam um determinado limiar de resistência, e morrem por desidratação. Este fenómeno, explica o facto de a congelação dos tecidos vegetais, em condições naturais, ser quase exclusivamente extracelular. A solução extracelular também tem solutos, o que leva a que a congelamento dos tecidos vegetais, geralmente, só se dê a temperaturas inferiores a cerca de  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . (De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010).

Em condições naturais, ocorre por vezes um outro estado denominado sobrefusão que determina que a água se mantenha no estado líquido quando a temperatura baixa abaixo do ponto de fusão da água, devido à ausência de núcleos de congelação (De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010).

Para que se dê a congelação dentro da planta, têm de existir núcleos de congelação. Estes podem ser de origem atmosférica (entram na planta através de feridas, estomas e lentículas) ou bactérias. No caso de bactérias ativas na nucleação de gelo (INA), a formação de cristais



de gelo dá-se à superfície das plantas e propaga-se para o seu interior (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

Podem-se considerar dois tipos de geadas de radiação: a geada branca e a geada negra.

A geada branca ocorre quando existe formação de cristais de gelo a partir de vapor de água depositado na superfície, e não leva necessariamente a prejuízos, dado que pode não ser atingida uma temperatura inferior a  $T_c$ . A geada negra ocorre quando o ponto de orvalho é mais baixo do que  $T_c$  e não se verifica formação de gelo à superfície, resultado da baixa humidade, verificando-se um aspeto “queimado” dos órgãos, relacionado com a necrose dos tecidos. Assim, a geada branca, pode, ou não, conduzir à necrose de tecidos, enquanto a geada negra o fará certamente. A formação de gelo na superfície das plantas, leva à libertação de calor latente, o que faz com que as geadas brancas causem, geralmente, menos danos em relação às geadas negras (Snyder e De Melo-Abreu, 2005; De Melo-Abreu e Ribeiro, 2010).

As geadas de advecção, são mais raras, e estão associadas ao transporte de grandes massas de ar frio que substituem o ar mais quente presente no local, à presença de nuvens, e ventos fortes a moderados. A sua ocorrência não está por norma associada a fenómenos de inversão, que podem, no entanto, verificar-se, caso a intensidade do vento diminua e se reúnam condições para o arrefecimento das superfícies (De Melo-Abreu *et al.*, 2016).

## 2.2 Balanço da radiação

Segundo De Melo-Abreu (2018a), a radiação que chega a uma superfície plana e horizontal, pode ser dividida em dois grupos. A radiação proveniente do Sol, de pequeno comprimento de onda, e a radiação com origem em gases e outros constituintes da atmosfera.

Assim, o balanço de radiação ( $R_n$ , em  $W\ m^{-2}$ ) de uma superfície plana e horizontal, pode ser calculado como:

$$R_n = S_n + L_n \quad (1)$$

onde,  $S_n$  é o balanço da radiação de curto comprimento de onda ( $W\ m^{-2}$ ), e  $L_n$  o balanço da radiação de longo comprimento de onda ( $W\ m^{-2}$ ).

$S_n$  é calculado através de :

$$S_n = S \downarrow - S \uparrow \quad (2)$$

onde,  $S \downarrow$  representa a radiação solar global (radiação solar propagada através da atmosfera, em  $W m^{-2}$ ) e  $S \uparrow$  a radiação solar reflectida (radiação solar reflectida na atmosfera, na superfície da Terra ou perdida por difusão, em  $W m^{-2}$ ).

$L_n$  é calculado por:

$$L_n = L \downarrow - L \uparrow \quad (3)$$

onde,  $L \downarrow$  é a radiação da atmosfera (radiação terrestre emitida pela atmosfera, em  $W m^{-2}$ ), e  $L \uparrow$  a radiação emitida pela superfície terrestre ( $W m^{-2}$ ).

De noite,  $S_n = 0$ , pelo que:

$$R_n = L \downarrow - L \uparrow \quad (4)$$

Como  $L \downarrow$ , é em geral inferior a  $-L \uparrow$ , a superfície terrestre perde mais radiação do que aquela que recebe, e por isso a temperatura desce ao longo da noite.

Em dias de céu limpo,

$$L \downarrow = \varepsilon_a \sigma T_{K,a}^4 \quad (5)$$

onde,  $T_{K,a}$  é a temperatura do ar (K), e  $\varepsilon_a = 0,0038T_{K,a} - 0,3434$ .

$L \uparrow$  é formada por uma componente correspondente à emitância da superfície, e outra da radiação da atmosfera que reflete na superfície. Como a emissividade de muitas superfícies é próxima de um, a reflexão é muitas vezes ignorada. Assim, resulta que:

$$L \uparrow = \varepsilon_s \sigma T_{K,s}^4 \quad (6)$$

onde,  $\varepsilon_s$  representa a emissividade da superfície, e  $T_{K,s}$  a temperatura da superfície, em kelvins.

## 2.3 Estimativa da temperatura da folha

De acordo com Campbell e Norman (1998), o balanço de energia de uma folha em estado estacionário, pode-se representar pela equação:

$$R_{abs} - L_{oe} - H - \lambda E = 0 \quad (7)$$

onde,  $R_{abs}$  corresponde à radiação absorvida,  $L_{oe}$  a radiação térmica emitida a partir da superfície,  $H$  a perda de calor sensível por convecção e  $\lambda E$ , a perda de calor latente por evaporação.

Considera-se que o termo relativo à radiação térmica emitida é:

$$L_{oe} = \varepsilon_s \sigma T_{K,L}^4 \quad (8)$$

Onde,  $\varepsilon_s$  é a emissividade da superfície,  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ) e  $T_{K,L}$  a temperatura da folha (K), procede-se à sua linearização (permitindo obter a função de forma explícita, retirando as variáveis implícitas), considerando  $T_{K,L} = T_{K,A} + \Delta T_K$ , com  $\Delta T_K = T_{K,L} - T_{K,A}$ .

Assim,

$$T_{K,L}^4 = (T_{K,a} + \Delta T_K)^4 = T_{K,a}^4 + 4T_{K,a}^3 \Delta T_K + 6T_{K,a}^2 \Delta T_K^2 + 4T_{K,a} \Delta T_K^3 + \Delta T_K^4 \quad (9)$$

Para potências de  $\Delta T_K$  superiores a um, os valores obtidos podem ser desprezados, pelo que:

$$\begin{aligned} \varepsilon_s \sigma T_{K,L}^4 &= \varepsilon_s \sigma (T_{K,a} + \Delta T_K)^4 = \varepsilon_s \sigma (T_{K,a}^4 + 4T_{K,a}^3 \Delta T_K) \\ &= \varepsilon_s \sigma T_{K,a}^4 + \varepsilon_s \sigma 4T_{K,a}^3 \Delta T_K \cong \varepsilon_s \sigma T_{K,a}^4 + c_p g_r (T_{K,L} - T_{K,a}) \end{aligned} \quad (10)$$

Com,  $c_p$  representando o calor específico do ar a pressão constante ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) e  $g_r$  a condutividade radiativa ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

O termo relativo ao calor latente:

$$\lambda E = \lambda g_v \frac{e_s(T_{K,L}) - e_a}{p_a} = \lambda g_v \frac{e_s(T_{K,L}) - e_s(T_{K,a}) + e_s(T_{K,a}) - e_a}{p_a} \quad (11)$$

com,  $g_v$  representando a condutividade para o vapor ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ),  $e_s(T_L)$  a tensão de saturação do vapor à temperatura  $T_L$  (kPa),  $e_a$  a tensão real do vapor de água (kPa) e  $p_a$  a pressão atmosférica (kPa), também pode ser linearizado através de:

$$e_s - e_a = e_s(T_{K,L}) - e_s(T_{K,a}) + e_s(T_{K,a}) - e_a \cong \Delta(T_{K,L} - T_{K,a}) + D \quad (12)$$

onde,  $\Delta$  representa o declive da tensão de saturação do vapor de água, e  $D$  o *deficit* de vapor da atmosfera. Deste modo,

$$\begin{aligned} \lambda g_v \frac{e_s(T_{K,L}) - e_a}{p_a} &= \lambda g_v \frac{e_s(T_{K,L}) - e_s(T_{K,a}) + e_s(T_{K,a}) - e_a}{p_a} \\ &\cong \lambda g_v s(T_{K,L} - T_{K,a}) + \lambda g_v \frac{D}{p_a} \end{aligned} \quad (13)$$

Onde,  $s = \Delta / p_a$  e  $\Delta = de_s(T)/dT$ . Assim, podemos reescrever a equação 7, recorrendo à equação 10, à equação 13 e a  $H = c_p g_{Ha}(T_{K,L} - T_{K,a})$ :

$$\begin{aligned} R_{abs} - L_{oe} - H - \lambda E &= R_{abs} - \varepsilon_s \sigma T_{K,a}^4 - c_p g_r (T_{K,L} - T_{K,a}) - c_p g_{Ha} (T_{K,L} - T_{K,a}) \\ &\quad - \lambda g_v s (T_{K,L} - T_{K,a}) - \lambda g_v \frac{D}{p_a} \\ &= R_{abs} - \varepsilon_s \sigma T_{K,a}^4 - (c_p g_r - c_p g_{Ha} - \lambda g_v s) (T_{K,L} - T_{K,a}) - \lambda g_v \frac{D}{p_a} \\ &= R_{abs} - \varepsilon_s \sigma T_{K,a}^4 - (c_p g_{Hr} - \lambda g_v s) (T_{K,L} - T_{K,a}) - \lambda g_v \frac{D}{p_a} \end{aligned} \quad (14)$$

Procede-se à simplificação  $g_{Hr} = g_v + g_{Ha}$ , onde  $g_{Ha}$  representa a condutividade para o calor da camada limite e  $g_{Hr}$  a condutividade convectiva-radiativa.

Deste modo, obtém-se a equação para o cálculo da temperatura da folha:

$$T_{K,L} = T_{K,a} + \frac{R_{abs} - \varepsilon_s \sigma T_{K,a}^4 - \lambda g_v D / p_a}{c_p g_{Hr} - \lambda g_v s} \quad (15)$$

Folhas pequenas permanecem aproximadamente à mesma temperatura do ar, independentemente da abertura ou fecho dos estomas, enquanto folhas maiores, atingem uma temperatura maior em relação às mais pequenas, quando os estomas estão fechados, e inferiores, quando abertos (Campbell e Norman, 1998).

Folhas pequenas, podem ser uma adaptação das plantas, a ambientes propícios a arrefecimentos noturnos, por possuírem uma menor exposição ao céu, diminuindo os riscos de danos provocados por geadas de radiação (Jordan e Smith, 1995).

A temperatura que um termómetro apresenta, é a medição da energia cinética do meio, e um reflexo do calor sensível. Quando a temperatura do meio aumenta, as moléculas movem-se mais depressa, têm mais energia cinética, colidindo mais vezes com o termómetro, o que leva ao aumento da temperatura medida. As moléculas de ar colidem com a nossa pele, e transferem energia cinética nessa colisão. Assim, nós “sentimos” essa transferência de energia, pelo que se lhe dá o nome de calor sensível. Por exemplo, os ventiladores na proteção contra as geadas, transportam ar quente situado a maiores alturas para a superfície, aumentando o fluxo de calor sensível descendente, e contrariam o arrefecimento da superfície (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

O calor latente é energia química presente nas ligações entre moléculas. Ao contrário do calor sensível, o calor latente não é mensurável num termómetro. Em mudanças de estado, e tomando como exemplo a evaporação, para que esta se dê, é necessário fornecer-lhe energia para quebrar as ligações de hidrogénio entre as moléculas. Assim, quando a água passa do estado líquido para gasoso, é necessário fornecer-lhe energia. A energia absorvida, não resulta no aquecimento da água, mas sim na sua mudança de estado, pelo que há transformação de calor sensível em calor latente. Esta transformação resulta na perda de calor pelo ar. No processo inverso, a condensação, calor latente é transformado em calor sensível e o ar recebe calor (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

A condutividade térmica de um solo depende dos seus constituintes e da forma como se dispõem. Quanto mais ar um solo tiver, menor será a sua condutividade térmica, já que o ar é mau condutor de calor. Durante o dia, o ar está a uma temperatura superior à do solo, pelo que se dá um fluxo positivo de calor, do ar para o solo. Depois do pôr do sol, o ar arrefece progressivamente e o solo começa a perder calor para o ar mais frio (fluxo negativo) (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

## 2.4 Termopares

Segundo Pearcy *et al.* (1989), os termopares são sensores que permitem saber uma determinada temperatura através do efeito de Seebeck, que resulta da conversão de uma energia térmica, em energia eléctrica. A junção entre as duas ligas metálicas diferentes, permite que, desde que a temperatura entre as duas ligas não seja igual, o circuito seja percorrido por uma corrente eléctrica. Essa corrente eléctrica, resulta numa tensão medida na junção de referência. À diferença de uma unidade de temperatura entre as ligas, corresponde um determinado gradiente de tensão. A esse gradiente dá-se o nome de coeficiente de Seebeck ( $\alpha$ ), e a cada tipo de termopar corresponde um coeficiente. Para o termopar tipo T,  $\alpha = 40 \mu\text{V K}^{-1}$ . A temperatura da junção de referência é conhecida através da sua medição direta com um sensor de temperatura.

$T_{K,T}$  (temperatura do termopar, em kelvins) pode ser calculada através de:

$$T_{K,T} = \frac{V}{\alpha} + T_{K,ref} \quad (16)$$

onde,  $V$  representa a voltagem medida ( $\mu\text{V}$ ), e  $T_{ref}$  a temperatura conhecida na junção de referência (K).

Para a medição das temperaturas ambientais, são usados frequentemente termopares do tipo T, constituídos por um fio de cobre e um de constantan (55% cobre e 45% níquel).

O fio de cobre é considerado o termoelemento positivo, o de constantan o negativo (Pearcy *et al.*, 1989).

De acordo com Guyot (1998), para realizar a medição da temperatura do ar, a junção em contacto com este (junção de medição), terá de estar em equilíbrio com o ar. Assim, pode escrever-se a equação 17,

$$h (T_{K,T} - T_{K,a}) = (1 - A) E_s \downarrow + \varepsilon (E_L \downarrow - \sigma T_{K,T}^4) \quad (17)$$

onde,  $h$  é o coeficiente de transferência térmica do termopar,  $T_{K,T}$  a sua temperatura (K),  $T_{K,a}$  a temperatura do ar (K),  $A$  o albedo do termopar,  $E_s \downarrow$  a radiação de origem solar que chega ao termopar ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\varepsilon$  a emissividade do termopar,  $E_L \downarrow$  a radiação de grande comprimento de onda proveniente do meio ( $\text{W m}^{-2}$ ) e  $\sigma$  a constante de Stephan-Boltzmann ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).

Sendo a medição de interesse, a efetuada à noite, considera-se  $E_{s\downarrow} = 0$ , obtendo a Equação 18,

$$h(T_{K,T} - T_{K,a}) = \varepsilon(E_L \downarrow - \sigma T_{K,T}^4) \quad (18)$$

Quando a temperatura é medida horizontalmente, num termómetro livre para irradiar, obtém-se o índice actinométrico, que corresponde ao valor mínimo registado de  $T_{K,T}$ , que pode ser usado para indicar a probabilidade de ocorrência de geada (Guyot, 1998).

Para a construção do termopar, o cabo é cortado com o comprimento considerado necessário. Na ponta em contacto com o meio em que se pretende fazer a medição de temperatura, enrolam-se os dois fios um no outro e são estanhados, com a ajuda de pasta de soldar, formando a junção de medição (Woodward e Sheehy, 1983). A outra ponta pode ser ligada ao instrumento de medição (*data logger*), ou a um aparelho que permita a comunicação entre vários termopares e o *data logger* (*multiplexer*), formando assim a junção de referência.

Os termopares são económicos e a distância entre o local de medição e o sistema de aquisição de dados, não afeta o sinal (Pearcy *et al.*, 1989).

Circuitos constituídos por vários termopares são frequentemente utilizados para medir diferenças de temperatura entre dois pontos, adicionar as voltagens produzidas por um conjunto de termopares, ou gerar uma voltagem que é a média das voltagens produzidas pelos conjunto dos termopares. Neste último caso, a ligação dos termopares do circuito é feita em paralelo. Deste modo, com uma única medição e conhecimento da temperatura de referência obtém-se a média das temperaturas das várias junções de medição (Pearcy *et al.*, 1989).

## 2.5 Proteção contra geadas

Os danos provocados por geadas de radiação podem ser minimizados, ou mesmo completamente evitados, se se tomarem as decisões corretas, tanto durante noites de geada, como previamente. A proteção ativa, realizada durante as noites de geada, entra em ação quando os métodos passivos, não são suficientes para evitar potenciais estragos. Por norma, os custos associados, fazem com que estejam associadas a culturas de alto valor económico.

Os métodos ativos podem incluir ventiladores, aspersores, aquecedores (com combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos), helicópteros, ou rega de superfície (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

## 2.5.1 Ventiladores

Os ventiladores são usados em vinha, citrinos e culturas caducifólias. Uma hélice horizontal, instalada no topo de uma torre, a aproximadamente 10 m de altura (Figura 1a), com o eixo inclinado para baixo (por exemplo 7 °), roda 360° em 3 a 4 minutos a aproximadamente 600 rpm. Em situações com inversão térmica fraca, deve ser usado um método diferente para proteção (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

Este método permite desfazer a inversão térmica, levando à mistura do ar mais quente, em altura, com o ar mais frio, à superfície, e requer quantidades inferiores de energia, quando comparado com a energia necessária para aquecer uma camada de ar, com o uso de aquecedores (De Melo-Abreu, 1985).

As máquinas devem começar a funcionar quando a temperatura se aproxima dos 0 °C, ou mesmo antes, em casos em que a fruta esteja molhada, de modo a secá-la e evitar a formação de gelo. Quando a velocidade do vento é superior a 2,5 m s<sup>-1</sup>, não se deve ligar a máquina, já que não é provável que se verifique inversão térmica e a hélice pode sofrer danos devido ao vento. Também podem ocorrer danos nas hélices caso haja nevoeiro sobrefundido (Snyder e De Melo-Abreu, 2005). O seu funcionamento deve ser ininterrupto, já que a sua interrupção dificulta a recuperação da temperatura perdida, provavelmente porque a inversão formada é particularmente estável (De Melo-Abreu *et al.*, 2000)

Atualmente, podem usar-se como alternativa, ventiladores portáteis (Figura 1b), que apresentam como vantagens não ser necessário arrancar plantas, caso o uso de máquinas



Figura 1 - Ventilador estacionário (a) e portátil (b).



de vento não seja projetado antes da instalação da cultura, consumos mais baixos e menor ruído (Tow and Blow, 2018).

Segundo Beyá-Marshall *et al.* (2019), um ventilador portátil revela-se menos eficaz no aumento da temperatura do ar e na área de influência, por comparação com um ventilador estacionário. O ventilador portátil, leva a um aumento da temperatura correspondente a 30% e 50% da inversão térmica, numa área de 3 ha e 0,6 ha, respetivamente, enquanto a estática, cobre entre 5,3 ha e 2,7 ha, respetivamente.

Os ventiladores de sopro vertical (VBF), atuam movendo o ar mais frio e denso, próximo da superfície, para altitudes mais elevadas, onde se mistura com o ar quente, fazendo com que o ar mais frio acabe por ser substituído por ar mais quente, diminuindo a inversão térmica (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

Segundo Yazdanpanah e Stigter (2011), o uso do VBF, resulta num aumento da temperatura entre os 0,5 e os 2,8 °C e um raio de influência de 500 m, mostrando-se um método bastante eficaz.

Segundo Battany (2012), o efeito do VBF, em comparação com as convencionais, é inferior tanto no aumento registado da temperatura do ar, como na área em que a sua influência se faz sentir. Em condições em que se verifica uma inversão fraca, não se verificou alteração de temperatura, tendo inclusive sido registados decréscimos da temperatura ao nível da cultura.

Também Yongguang *et al.* (2015), conclui não haver evidências que o VBF seja um método eficaz no aumento da temperatura, indicando, no entanto, a necessidade de estudar a diferença entre a potência e altura do jato das hélices, causa apontada, como diferença para com os resultados encontrados por Yazdanpanah e Stigter (2011).

Segundo De Melo-Abreu (2018a), este método tem como problemas, a baixa área em que se verificam resultados positivos, e o facto de que o ar impulsionado para alturas superiores, acaba por descer, resultando em danos na parte superior da cultura, em vez de se fazerem sentir na parte inferior, onde as temperaturas normalmente seriam inferiores.

## 2.5.2 Aspersores

Segundo Snyder e De-Melo Abreu (2005), a água aplicada com aspersores, encontra-se a uma temperatura superior à do ar. Durante o trajeto desde o aspersor até uma superfície (e.g. uma flor), a sua temperatura diminui, pela perda de calor sensível, levando ao aumento da

temperatura do ar, plantas ou solo, e pode contribuir para que ocorra evaporação. A evaporação de água, tal como mencionado anteriormente, resulta na remoção de calor sensível, levando à diminuição da temperatura do ar. A evaporação de 1 kg de água, a 0 °C, necessita de 2501 kJ kg<sup>-1</sup>, enquanto o arrefecimento e congelamento de 1 kg de água, desde os 20 °C, liberta 418,3 kJ kg<sup>-1</sup>. Assim é necessário que a quantidade de água arrefecida e congelada seja 6 vezes superior à quantidade de água evaporada.

Quando a água chega a uma superfície e congela, liberta calor latente, que conduz ao aumento da temperatura dessa superfície. No entanto, vai evaporar água dessa superfície, perdendo-se calor latente, que em conjunto com as perdas de energia por radiação, fazem com que a temperatura da superfície diminua, até que o aspersor volte a depositar água que vai congelar e aquecer a superfície. Assim, é necessário garantir que a temperatura dos órgãos não desça em demasia entre as aplicações de água, mantendo uma fina camada de água sobre o gelo, de modo a manter a temperatura próxima dos 0 °C (De Melo-Abreu *et al.*, 2016).

Este método pode ser usado em diversas culturas como por exemplo, vinha (Figura 2), árvores de folha caduca, mirtilo, arando, ou chá (Snyder e De Melo-Abreu, 2005; Yongguang *et al.*, 2016; Olszewski *et al.*, 2017; Smith, 2019).

As desvantagens deste método prendem-se com o elevado custo de instalação (embora os encargos nos anos seguintes sejam baixos), e a necessidade de grandes quantidades de água, desvantajoso em casos em que a sua quantidade disponível não seja suficiente, ou o preço, elevado. Essas mesmas quantidades de água, podem trazer problemas em relação ao encharcamento de solos e aumento de pressão em relação a certas doenças (Poling, 2008). O seu uso não é compatível com culturas com ramos frágeis, como por exemplo a amendoeira, já que a acumulação de gelo pode levar à sua quebra (Snyder e De Melo-Abreu, 2005). Para prevenir estragos devidos ao mau funcionamento do sistema, aquando da previsão de temperaturas baixas, deve-se testar o sistema de irrigação com alguns dias de antecedência, para proceder a reparações caso seja necessário (Smith, 2019).

Segundo Snyder e De Melo-Abreu (2005), a aplicação de água tem de ser feita em intervalo entre 30 e 60 segundos (quanto maior o intervalo, maior deve ser a taxa de aplicação), e o aspersor deve estar pelo menos 30 cm acima da cultura, para que as plantas não bloqueiem o jato de água. Tal como referido anteriormente, entre intervalos de aplicação, a evaporação ou sublimação são responsáveis por uma diminuição de temperatura devido à transformação de calor sensível em calor latente. Dado que os tecidos da planta se encontram cobertos de água, a sua temperatura pode diminuir até à temperatura do bolbo molhado ( $T_w$ ). Nos casos em que a humidade do ar seja baixa,  $T_w$  pode ser consideravelmente inferior à temperatura

do ar. O mesmo pode acontecer quando os intervalos de aplicação são demasiado longos, ou quando o sistema é parado cedo de mais.

Deve iniciar-se o sistema quando  $T_w$  for ligeiramente superior a  $T_c$ , ou quando atingir  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dado que os valores de  $T_c$  não são necessariamente ajustados às condições próprias de cada local. Deve dar-se a proteção como terminada, quando  $T_w$  na direção contrária ao vento é superior a  $T_c$ , depois do nascer do sol. A taxa de aplicação de água deve ser maior, quanto maior for a velocidade do vento e quanto mais baixa for a temperatura mínima. Quanto maior a velocidade do vento, maior vai ser a taxa de evaporação, e por conseguinte, maiores as perdas de calor sensível da superfície das plantas, pelo que é necessário congelar mais água para compensar essas perdas. Uma temperatura mínima baixa, é indicativa de um *deficit* de calor sensível, pelo que o mesmo princípio se aplica (Snyder e De Melo-Abreu, 2005).

Alternativamente, pode optar-se por um sistema automático que liga e desliga o sistema, durante toda a noite, com base em temperaturas pré-definidas. Segundo Olszewski *et al.* (2017), o uso deste tipo de sistema permite poupar entre 33 e 80% de água, comparativamente com o funcionamento contínuo, mantendo, e inclusive, melhorando o nível de proteção, iniciando o sistema quando a temperatura do ar se encontra  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  acima de  $T_c$  e desligando-o quando  $T_c$  estiver  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura do ar.



Figura 2 - Aspersão, em vinha. Fonte: <https://maisons-champagne.com>.

### 3 Material e métodos

#### 3.1 Localização

O ensaio foi realizado num pomar de macieiras *Golden Delicious*, com 30 anos de idade, da Sociedade Agrícola da Quinta dos Lamaçais, com compasso de plantação de 4 x 2 m, orientação Norte-Sul, em Caria, Covilhã, a aproximadamente 430 m de altitude, no ponto de coordenadas 40° 44' 30,822" N, 73° 59' 21.508" W (Figura 3). O método de rega utilizado é o de gota a gota, com controlo químico das infestantes na entrelinha e mecânico na linha. A produtividade expectável apontada pelo produtor, de 25 t/ha (valor que inclui as perdas devidas às geadas), é inferior às esperadas para pomares intensivos, onde se aponta para um mínimo de 40 t/ha, devido à avançada idade do pomar e condições do local, propícias às perdas de produção por danos provocados por geadas (GPP, 2007).

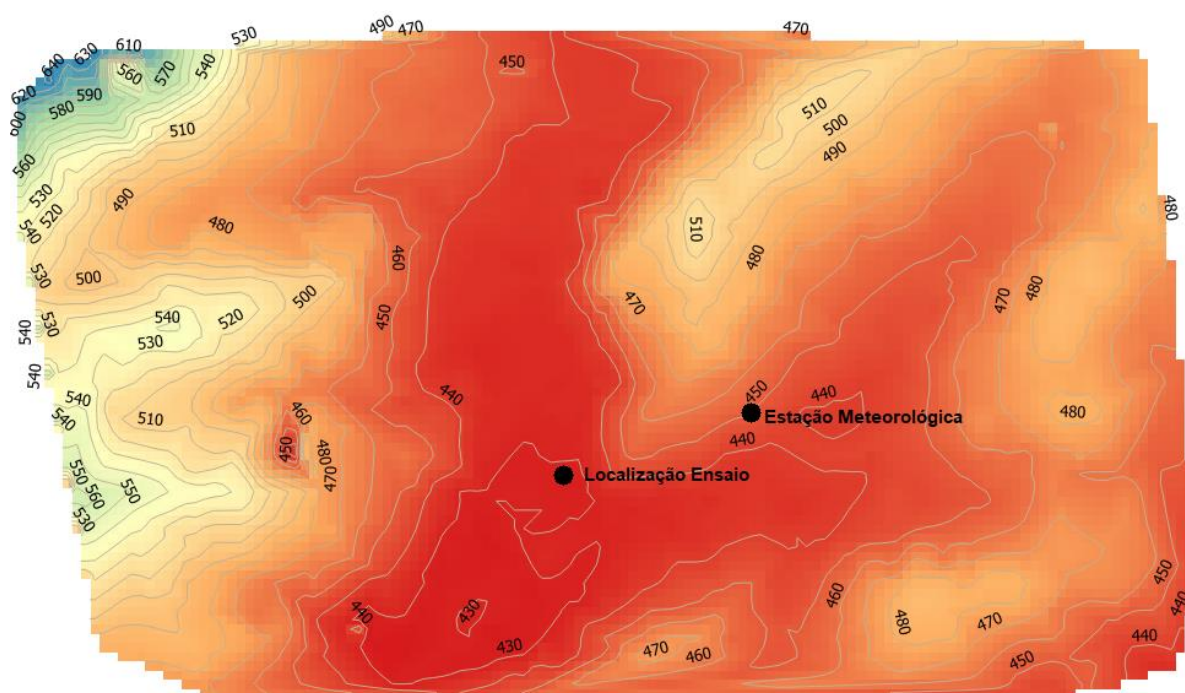


Figura 3 - Imagem topográfica do local do ensaio. Escala 1:15580.

#### 3.2 Caracterização do clima

Para fazer uma caracterização climática da zona, usou-se o programa "MeuClima&Solo\_Ver1.01", que tendo como *input*, somente as coordenadas de um dado local em Portugal Continental, fornece dados meteorológicos médios, de um período de 30 anos.

O programa faz uma interpolação dos dados referentes a estações meteorológicas próximas do local escolhido, e faz uma correção tendo em conta a altitude desse local. Os resultados podem ser apresentados mensalmente, ou diariamente (De Melo-Abreu, 2018b).

As temperaturas da Figura 4,  $T_{\min}$  e  $T_{\max}$ , correspondem, às temperaturas mínimas e máximas médias mensais, respetivamente. O gráfico corresponde ao que seria de esperar de um local com clima Mediterrânico, com o desfasamento temporal entre temperaturas altas e ocorrência de precipitação, que resulta em verões quentes e secos, e invernos frios e chuvosos.

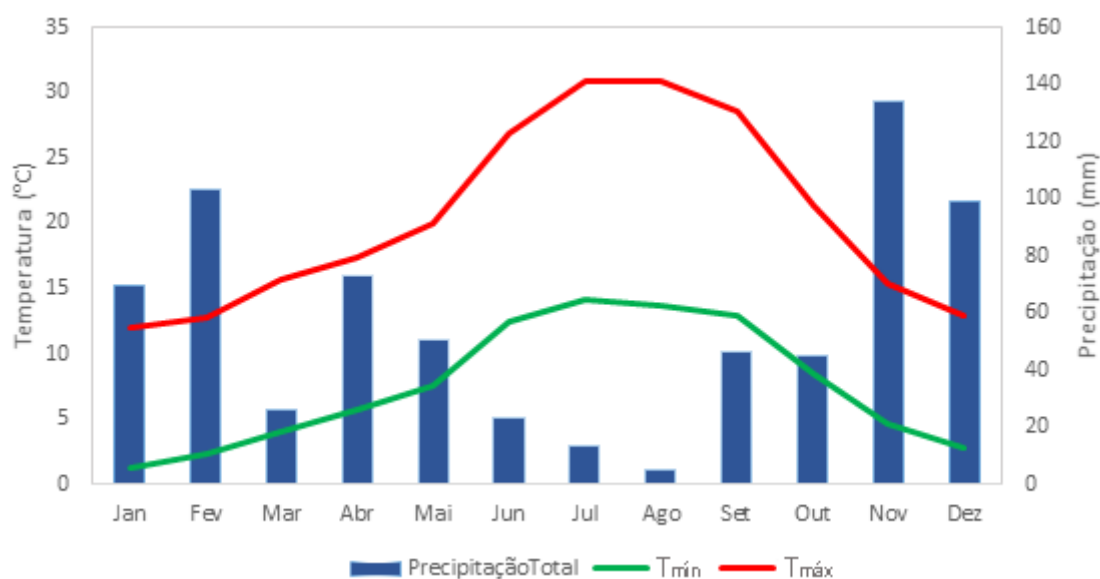


Figura 4 - Climograma para um ano médio, em Caria.

No Quadro 2, encontram-se dados relativos a um ano médio, que permitem aferir o risco da ocorrência das geadas ao longo do ano e tendo em conta as fases críticas do desenvolvimento da cultura, através da temperatura mínima verificada em cada mês, e o número de dias médios, por mês, em que se verificam temperaturas negativas.

Quadro 2 – Estatísticas relativas ao risco de geadas, num ano médio, em Caria.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T mínima absoluta (°C)	-6,73	-6,53	-2,75	-0,91	-1,04	4,46	6,80	5,44	5,13	-0,19	-6,63	-5,15
Nº dias $T < 0^{\circ}\text{C}$	14	9	3	1	0	0	0	0	0	1	4	9

### 3.3 Classificação climática de Köppen-Geiger

A classificação climática de Köppen (1936), modificada em 1961 e 1954 por Geiger, é um sistema de classificação empírico, definido por até três letras. A primeira letra deriva da divisão de 5 grupos de plantas, feita pelo botânico francês De Candolle, de acordo com a sua distribuição pelos climas considerados pelos Gregos Antigos (Kottek et al., 2006). A segunda letra está relacionada com o tipo de precipitação sazonal e a terceira, com o nível de calor, o que leva a caracterizar a região em estudo, como Csb, clima temperado com Verão seco e suave. Um Verão seco é caracterizado pela precipitação mensal do mês mais seco ser inferior a um terço da precipitação mensal do mês mais húmido e por apresentar precipitação no mês mais seco, inferior a 40 mm. Um Verão suave, tem pelo menos 5 meses com temperatura média superior a 10 °C e a temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C (De Melo-Abreu, 2018b).

### 3.4 Classificação climática de Thornthwaite

A classificação climática de Thornthwaite (1948), é geralmente menos usada em relação à de Köppen-Geiger, dada a sua complexidade, que embora fosse considerada como uma melhoria conceptual, tornava o seu uso no dia a dia impraticável, já que a nível mundial, resultava em mais de 800 climas diferentes (Feddema, 2005).

Esta classificação considera a eficiência da temperatura e a efetividade da precipitação. A classificação revista de Thornthwaite, foi obtida através do programa “ThornthwaiteClimCalc\_Ver1.00”, que toma como *input*, as coordenadas do local, a precipitação acumulada mensal e as temperaturas mensais médias, obtidas na caracterização climática feita em 3.5 (De Melo-Abreu, 2019 b).

Assumiram-se como temperaturas médias mensais, a média da soma das temperaturas médias mensais mínimas e máximas.

Deste modo, o clima é classificado como  $C_1B'_2s_2b'_4$ , ou seja, sub-húmido seco, mesotérmico, com grande excesso de água no Inverno e com moderada concentração da eficiência térmica.

### 3.5 Balanço Hídrico

Foi realizado o balanço hídrico climatológico segundo o método de Thornthwaite-Mather, a partir dos dados de uma série climatológica de 30 anos (1960-1990). Considera-se a

capacidade de água do solo (U), 100 mm. O Quadro 3 foi obtido através do programa “ThorntwaiteClimCalc\_Ver1.00”, que toma como *input*, as coordenadas do local, a precipitação acumulada mensal e as temperaturas mensais médias. A teoria e cálculos associados ao balanço hídrico encontram-se em De Melo-Abreu (2018b).

Quadro 3 - Balanço hídrico.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	$\Sigma$
ET <sub>p</sub>	15	18	33	45	65	109	135	125	98	56	28	19	746
P	69	104	26	73	51	23	13	5	46	45	134	99	688
P-ET <sub>p</sub>	54	86	-7	28	-14	-86	-122	-120	-52	-11	106	80	-58
L	0	0	7	0	14	100	222	342	394	405	0	0	
L			0,07		0,14	1,00	2,22	3,42	3,94	4,05			
A			0,93		0,87	0,37	0,11	0,03	0,02	0,02			
A	100	100	93	100	87	37	11	3	2	2	100	100	
$\Delta A$	0	0	-7	7	-13	-50	-26	-8	-1	0	98	0	0
ET <sub>r</sub>	15	18	33	45	64	73	39	13	47	45	28	19	439
D	0	0	0	0	1	36	96	112	51	11	0	0	307
S	54	86	0	21	0	0	0	0	0	0	8	80	249

### 3.6 Data logger

A informação obtida no campo, foi processada e guardada num *data logger*, CR1000 (Figura 5) (Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA). O *data logger* é um gravador digital, que converte um sinal analógico, num sinal digital.

Este equipamento, permite através do Efeito de Seebeck referido anteriormente, transformar uma diferença de potencial entre os dois fios do termopar da junção de referência, numa temperatura na junção de medição.

Previamente, foi feita a programação do *data logger*, de modo a que o processamento do sinal seja feito corretamente tendo em conta, o intervalo de tempo em que a informação deve ser processada e guardada, e como o processamento deve ser feito, considerando os diferentes tipos de termopar existentes. A exportação dos dados do *data logger*, foi feita através de ligação cabo, para um computador portátil, que permitiu criar um ficheiro passível de ser lido em Excel. Foram usados os dados correspondentes às estatísticas de medição de 5 em 5 minutos.



Figura 5 - Data logger CR1000.

### 3.7 Multiplexer

Quando o número de canais de input necessários, é superior à capacidade do *data logger*, torna-se indispensável expandir essa capacidade, que é conseguido através da adição de *multiplexer*.

O *multiplexer* é um circuito controlado pelo *data logger*, que permite que os sensores ligados comuniquem com o *data logger*, sequencialmente e de forma individual. No caso em estudo, foi usado um *multiplexer* AMT25 (Figura 6) (Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA), com 25 canais de entrada que permitem a comunicação sequencial sensor-*data logger* (Campbell Scientific, Inc., 2019). Deste modo, um canal do *data logger* que estaria ligado a um só termopar, é ligado ao *multiplexer*, e consequentemente, permite a leitura de, até 25 termopares diferentes.



Figura 6 - Multiplexer AMT25.

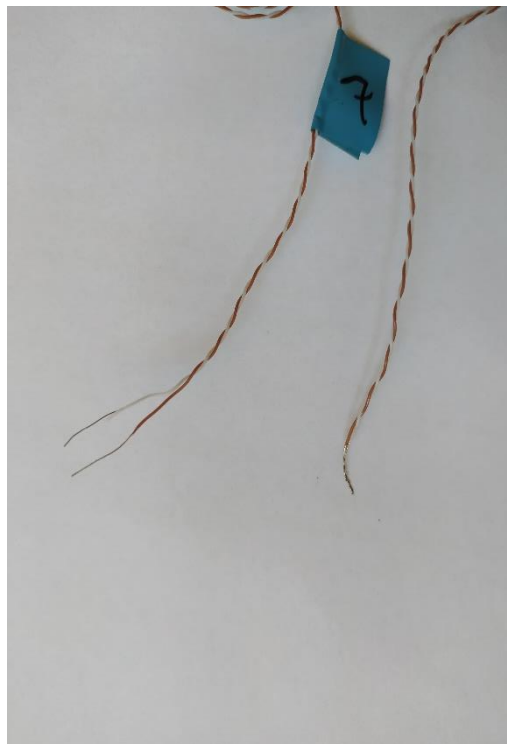


### 3.8 Descrição dos instrumentos de medição de temperatura construídos

Para a construção do protótipo, foi utilizado o termopar tipo T, com uma espessura de 0,315 mm (Figura 7). Nas flores foi colocado o mesmo tipo de termopar, com 0,2 mm de espessura (Figura 8).



*Figura 7 - Cabo termopar usado nos protótipos.*



*Figura 8 - Cabo termopar usado nas flores.*

Para este trabalho foram construídos 9 protótipos que pretendem determinar uma temperatura representativa das temperaturas das flores a determinado nível. A estrutura do protótipo construído foi formada por um bolbo metálico, no interior do qual se encontravam 6 termopares ligados em paralelo (3 em cada um dos hemisférios do bolbo e soldados à sua parede). De cada um dos 9 protótipos construídos, saía então, apenas um só cabo para o *multiplexer*, que fazia assim a medição da temperatura correspondente à média das temperaturas medidas nos 6 termopares. Desta forma, pretendeu-se fazer uma medição mais representativa da temperatura a que uma flor possa estar sujeita, fazendo um balanço da radiação, a partir de

todas as direções, dentro da copa da árvore, em vez de fazer a medição da temperatura num só ponto. O esquema da construção do protótipo pode ser visualizado na Figura 9.

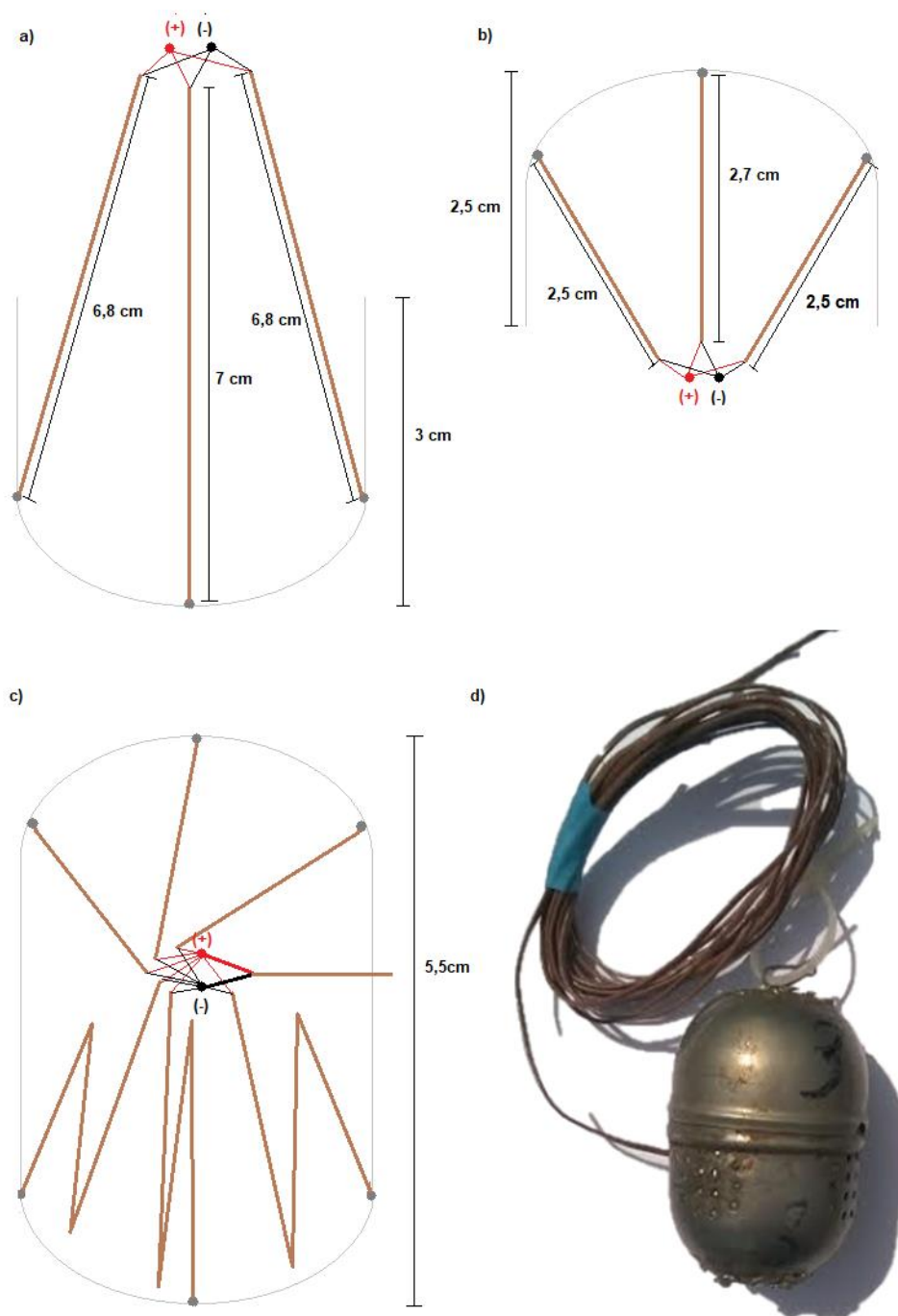


Figura 9 – a) esquema da construção da parte inferior do protótipo. b) esquema da construção da parte superior do protótipo. c) esquema das duas partes do protótipo em conjunto. d) foto do protótipo construído.

### 3.9 Previsão da temperatura mínima

Snyder e De Melo-Abreu (2005), disponibilizam um programa em Excel para ajustar uma fórmula de previsão da temperatura mínima (FFST.xls). Os dados introduzidos, devem ser referentes às temperaturas do ar, 2 h após o pôr do sol (quando radiação líquida atinge o mínimo), em noites com céu descoberto, em que as velocidades do vento não devem ultrapassar os  $2 \text{ m s}^{-1}$ , e das temperaturas mínimas da manhã seguinte, que ocorreram nesses mesmos dias. De modo a aumentar a exatidão da estimacão feita pelo programa, é possível introduzir também  $T_o$ , 2 h após o pôr do sol. O programa devolve a equação a ser usada para fazer a estimativa da temperatura mínima e a raiz dos erros médios quadráticos, que indica a diferença entre os valores estimados e os observados.

Para o cálculo de  $T_o$ , foi usada a Equação 19 com os dados de humidade da estação meteorológica próxima do local e a temperatura do ar no local do ensaio.

$$T_o = \frac{237,3 \times \left( \frac{\ln(RH/100)}{17,27} + \frac{T}{237,3 + T} \right)}{1 - \left( \frac{\ln(RH/100)}{17,27} + \frac{T}{237,3 + T} \right)} \quad (19)$$

onde RH, representa a humidade relativa (%).

Foram comparadas as temperaturas máximas registadas no pomar e na estação meteorológica, para garantir que os dados de humidade da estação meteorológica podiam representar adequadamente os do pomar.

### 3.10 Previsão do curso da temperatura

A previsão do curso de temperatura dá uma ideia aos agricultores de quando poderá ser a melhor altura para iniciar os métodos de proteção ativa.

Segundo Goudriaan e Van Laar (1994), a temperatura noturna do ar ( $T_a$ ), é dada por:

$$T_a = \frac{T_{min} - T_{sset} \times e^{-\frac{n}{TC}} + (T_{min} - T_{sset}) \times e^{-\frac{t_h - t_{sset}}{TC}}}{1 - e^{-\frac{n}{TC}}} \quad (20)$$

onde,  $T_{\min}$  representa a temperatura diária mínima (atingido ao nascer do sol ( $t_h = 12 - d/2$ ) (°C)),  $T_{\text{sset}}$  a temperatura ao pôr do sol (°C),  $n$  a duração da noite (horas),  $TC$  o coeficiente de tempo noturno (aproximadamente 4 horas),  $t_h$  a hora solar, e  $t_{\text{sset}}$  a hora do pôr do sol.

O cálculo de  $T_{\text{sset}}$  é realizado através da equação para a temperatura do período diurno:

$$T_a = T_{\min} + (T_{\max} - T_{\min}) \times \sin \left[ \pi \times \frac{\left( t_h - 12 + \frac{d}{2} \right)}{d + 2p} \right] \quad (21)$$

onde,  $d$  representa a duração do dia (horas) e  $p$ , o tempo entre meio dia solar e a temperatura máxima (1,5 horas). Considera-se que  $T_{\max}$ , a temperatura máxima, é atingida às 13,5 horas solares.

Por sua vez,  $d$  é calculado através de:

$$d = 12 \times \left[ 1 + \frac{2}{\pi} \times \sin^{-1} \left( \frac{a}{b} \right) \right] \quad (22)$$

onde  $a$  representa a deriva solar sazonal, em relação ao Equador, e  $b$ , o seno da amplitude da altura solar.

Para o cálculo de  $a$  e  $b$ :

$$a = \sin \lambda \sin \delta ; b = \cos \lambda \cos \delta$$

onde  $\lambda$  representa a latitude e  $\delta$  a declinação solar.

Por fim,

$$\cos \delta = \sqrt{1 - \sin \delta \times \sin \delta} \quad (23)$$

$$\sin \delta = -\sin \left( \pi \times \frac{23,45}{180} \right) \times \cos 2\pi \times \frac{(t_d + 10)}{365} \quad (24)$$

onde  $t_d$  representa o dia do ano.

### 3.11 Previsão de prejuízos

Snyder e De Melo-Abreu (2005), disponibilizam a aplicação *Damage Estimator* (DEST.xls) que permite fazer a previsão de prejuízos decorrentes de temperaturas baixas. Inicialmente, na folha *Start Here*, introduzem-se dados relativos à cultura (altura, densidade, tipo de planta, produção esperada e intensidade de monda), e proteção esperada de métodos de luta contra geada utilizados. De seguida, na folha *Weather* introduzem-se as temperaturas máximas e mínimas, registadas na época de risco de geada, num período que pode ir até aos 50 anos. Por fim, na folha *Crop*, introduzem-se as temperaturas críticas, dos vários estados fenológicos da cultura,  $T_{10}$  e  $T_{90}$ , e a dia do ano em que esses estados são observados. A folha *Results*, devolve, a percentagem de estragos e produção esperada para os diferentes métodos de proteção, e número e duração de eventos de geada.

### 3.12 Avaliação de estragos

A 23 de Abril procedeu-se à avaliação dos estragos provocados pela geada nas flores, decorrentes das noites de 11 para 12 e 15 para 16 de Abril. Foram amostradas 10 flores, aleatoriamente, de cada uma das árvores e foi feito um corte longitudinal de modo a observar eventuais danos causados pelas baixas temperaturas, que se iriam evidenciar pela mudança da cor das estruturas internas das flores, de verde para acastanhado. Não foram observados quaisquer danos, na amostragem efetuada.

### 3.13 Delineamento experimental e sistema de aquisição de dados

Os 9 protótipos construídos, foram divididos por 3 macieiras consecutivas, na mesma linha, sendo que em cada uma das árvores se procedeu à medição da temperatura em 3 alturas diferentes: 1 m, 1,5 m e 2 m.

Simultaneamente, foram medidas as temperaturas no interior das flores, a 1,5 m de altura, dentro da copa das árvores.

Fora da copa das árvores, foi medida a temperatura a 1,5 m de altura em dois pontos, um deles abrigado (envolto em alumínio) e outro exposto.

O disposição dos protótipos e termopares nas árvores pode ser vista na Figura 10.

O *data logger*, *multiplexer* e bateria, foram colocados numa caixa de metal fechada com cadeado, como forma de proteção. Dentro da caixa colocou-se sílica gel, para manter os instrumentos que ela contém secos. Foi feita uma ligação à terra entre o *data logger* e uma vara de cobre, para evitar acumulação de eletricidade estática e evitar danos de possíveis descargas elétricas nas vizinhanças.

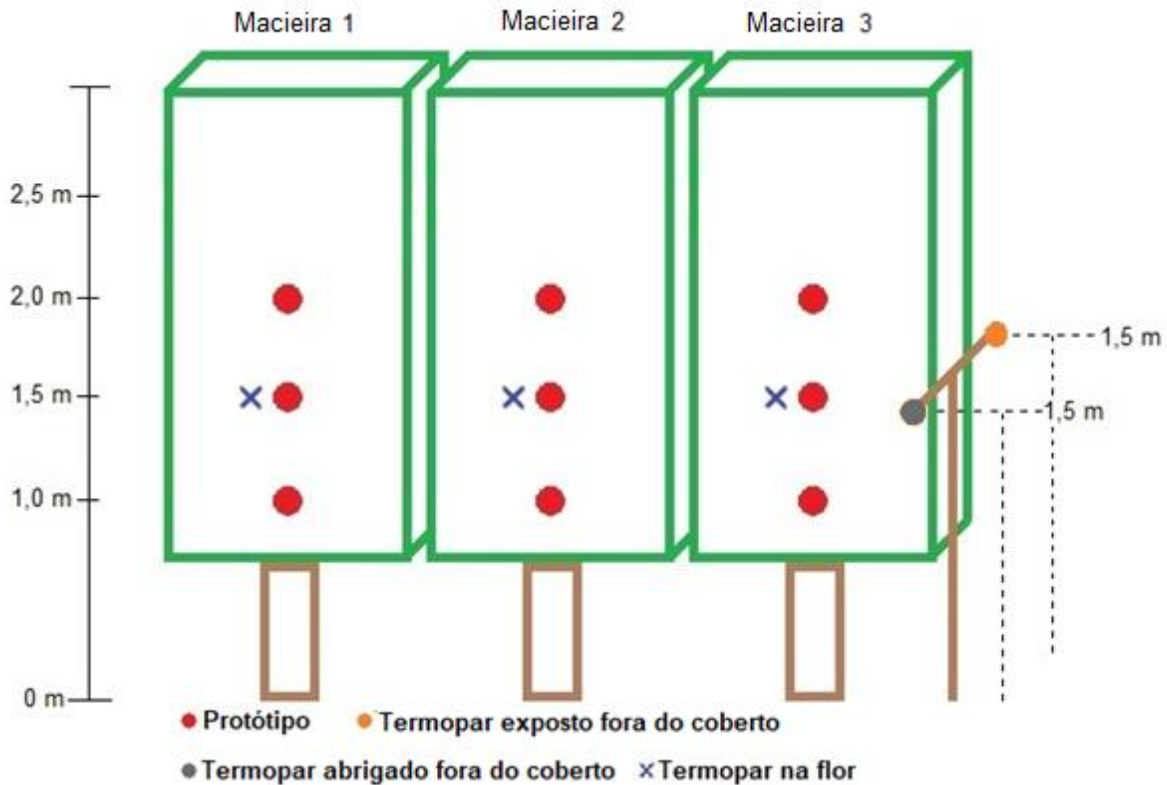


Figura 10 - Esquema da instalação dos protótipos e termopares.

### 3.14 Calibração e validação dos modelos

A calibração dos modelos para as condições em estudo, foi feita usando a ferramenta *Solver*, em *Excel*, de modo a diminuir a raiz do erro quadrático médio (RMSE). O RMSE, calculado através da Equação 25, permite verificar a diferença entre as temperaturas estimadas pelo modelo e as temperaturas observadas.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_i - O_i)^2}{N}} \quad (25)$$

onde,  $E_i$  representa os valores estimados e  $O_i$ , os valores observados.

A eficiência de modelação (ME), é determinada através da equação 26.

$$ME = \frac{\sum_1^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_1^n (E_i - O_i)^2}{\sum_1^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (26)$$

onde  $\bar{O}$  representa a média dos valores observados.

ME é um índice relativo de medição da capacidade do modelo para descrever o sistema real.

Ao valor unitário de ME, corresponde a admitir o ajustamento perfeito do modelo, enquanto que ao valor zero, corresponde a admitir que a capacidade do modelo descrever o sistema, é semelhante à utilização da média dos valores observados. Valores negativos de ME, indicam um reduzido poder de descrição da realidade (Janssen e Heuberger, 1995; Vanclay, 1997).

### 3.15 Tratamento estatístico

Foram consideradas as noites em que se verificou uma diferença superior a 8 °C, entre a temperatura máxima e a temperatura mínima, e em que a temperatura mínima registada no termopar abrigado, foi inferior a 2 °C. Assim, foram seleccionadas as noites de 21, 22, 28, 29 e 30 de Março, 11 e 15 de Abril, e 3 de Maio. Os termopares foram inseridos nas flores, a partir da noite de 28 para 29 de Março.

No tratamento estatístico, foram usadas as temperaturas medidas inferiores a 4 °C, de maneira a cingir esta análise à parte mais importante do processo de arrefecimento característico das noites de geada. Assim, também se evita considerar diferenças de temperatura, entre o protótipo e restantes temperaturas, decorrentes do seu aquecimento durante o dia, mais pronunciado do que o registado nas flores, ou ar. Na calibração do modelo de previsão do curso da temperatura, foram usadas as temperaturas a partir das 2 horas após o pôr do sol.

Os dados das temperaturas das flores e dos protótipos, medidos ao mesmo nível, foram divididos em dois conjuntos (conjunto de calibração e conjunto de avaliação da precisão do protótipo). Cada conjunto contém as medições das temperaturas realizadas em metade das noites com forte arrefecimento noturno, escolhidas aleatoriamente. A reta de calibração, usada para determinar a temperatura das flores, foi obtida através da regressão ortogonal, da temperatura das flores *versus* as temperaturas dos protótipos. A avaliação da precisão do

protótipo foi feita pela regressão ortogonal entre os valores da temperatura corrigidos *versus* os valores da temperatura das flores, que foram medidos.

Enquanto na regressão linear, se assume que a variável independente (temperaturas observadas), não apresenta erros de medição, na regressão ortogonal, pelo método de Deming, admite-se a possibilidade de haver erros de medição, tanto na variável dependente, como na independente.

Para validação dos modelos de previsão do curso da temperatura e da temperatura mínima, a comparação entre as temperaturas medidas e observadas, foi feita recorrendo à análise da regressão linear.

No tratamento estatístico, foi considerado um nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

As regressões ortogonais, foram realizadas através do software “Real Statistics Resource Pack, v6.5” (Zaiontz, 2019).



## 4 Resultados e discussão

### 4.1 Perfil vertical da temperatura

Com a temperatura registada pelos protótipos, foi construído o perfil das temperaturas dentro da copa da árvore 3, para as noites em estudo.

Na Figura 11, observam-se os perfis verticais da temperatura, em intervalos de uma hora, com início no pôr do sol e término aquando do registo da temperatura mínima. Observa-se que, ao longo da noite, as temperaturas a 2 m de altura se mantêm superiores às temperaturas medidas a 1 m de altura, excetuando na medição realizada 2 horas após o pôr do sol. No entanto, por vezes a temperatura a 1,5 m, é inferior às temperaturas a 1 e 2 m de altura.

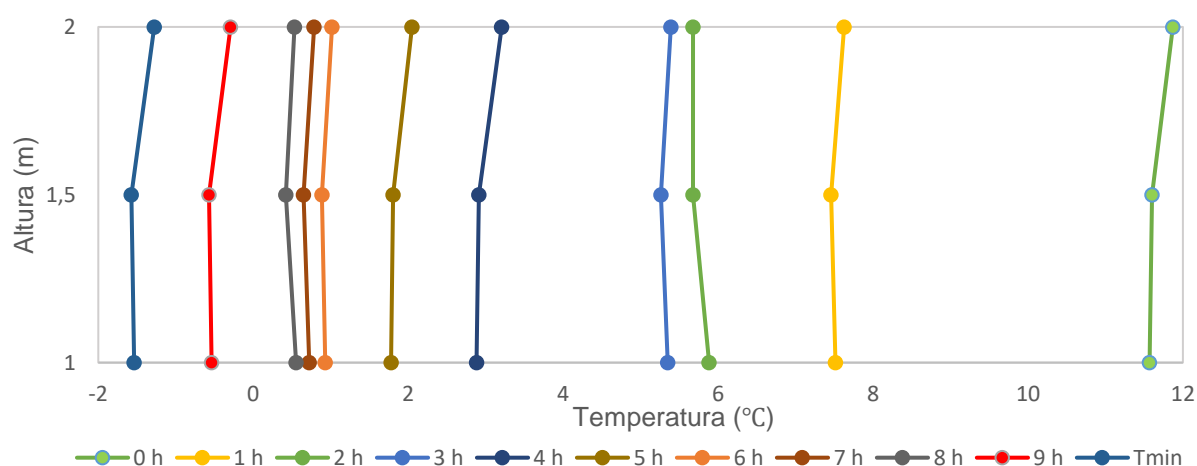


Figura 11 - Perfil vertical horário das temperaturas dentro da copa, na noite de 15 para 16 de Abril. As horas são relativas ao pôr do sol.

Nem sempre a temperatura mínima se verifica ao nível do solo. Ribeiro *et al.*, (2006) observaram, em noite de geada, a temperatura mínima a uma altura semelhante. O aumento de temperatura verificado em altura, é condizente com a formação de inversão térmica, em noites de geadas de radiação, no entanto, dado que a inversão térmica é geralmente calculada pela diferença entre as temperaturas a 10 m e 1,5m, não é possível conhecer a intensidade da inversão.

Na Figura 12, estão representados, os perfis verticais da temperatura, das noites em estudo, com as medições realizadas pelos protótipos, na árvore 3, quando é registada a temperatura mínima do ar. Novamente, evidencia-se o registo da temperatura, acima do nível do solo. Podem-se considerar dois escoadores de perda de calor, o solo e a folhagem. A perda de calor por radiação das folhas, mais próximas do solo, dá-se em condições em que a mistura

do ar é inferior em relação a alturas superior, onde a maior circulação de ar, permite o aumento da temperatura com a altura, característico das inversões térmicas. Este arrefecimento das superfícies foliares provoca o arrefecimento do ar na vizinhança.

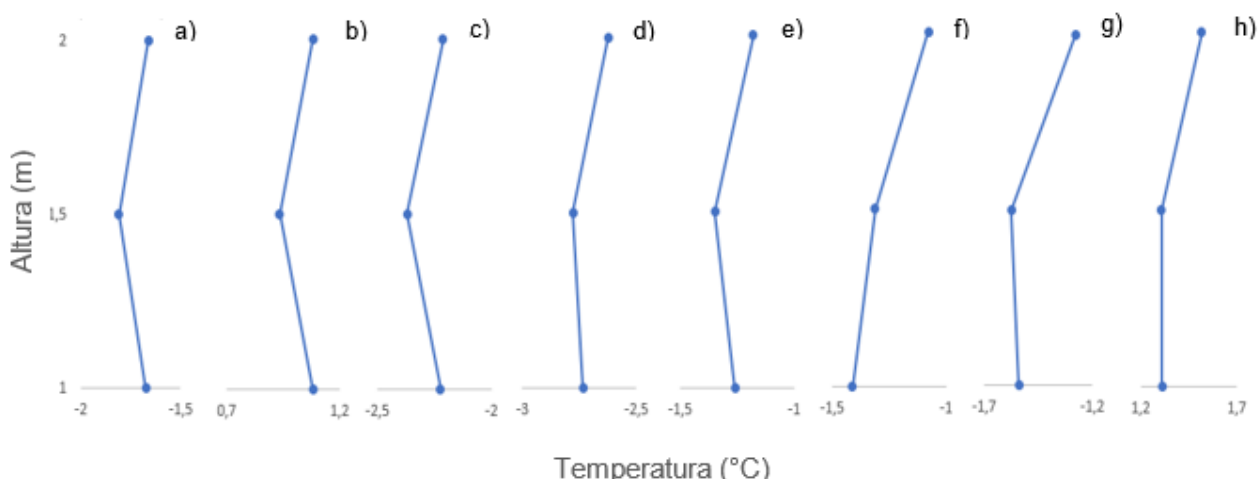


Figura 12 - Perfil vertical da temperatura dentro da copa, aquando da temperatura mínima, nas noites de: a) 21 Março, b) 22 Março, c) 28 Março, d) 29 Março, e) 30 Março, f) 11 Abril, g) 15 Abril, h) 3 Maio.

## 4.2 Flor versus protótipo

Na Figura 13, observam-se os dados recolhidos na noite de 15 para 16 de Abril, na árvore 2, no protótipo e na flor, a 1,5 m de altura, representativos dos restantes registos. Ao pôr do sol, as temperaturas registadas no protótipo e na flor, são respectivamente, 11,97 e 11,48 °C. Esta diferença registada ao pôr do sol, tende a anular-se ao longo da noite, quando o processo de arrefecimento é mais importante. A temperatura mínima foi registada aproximadamente 12 minutos após o nascer do sol, correspondendo ao esperado, segundo De Melo-Abreu (2018a).

Após esse instante, tal como seria de esperar, as temperaturas começam a aumentar.

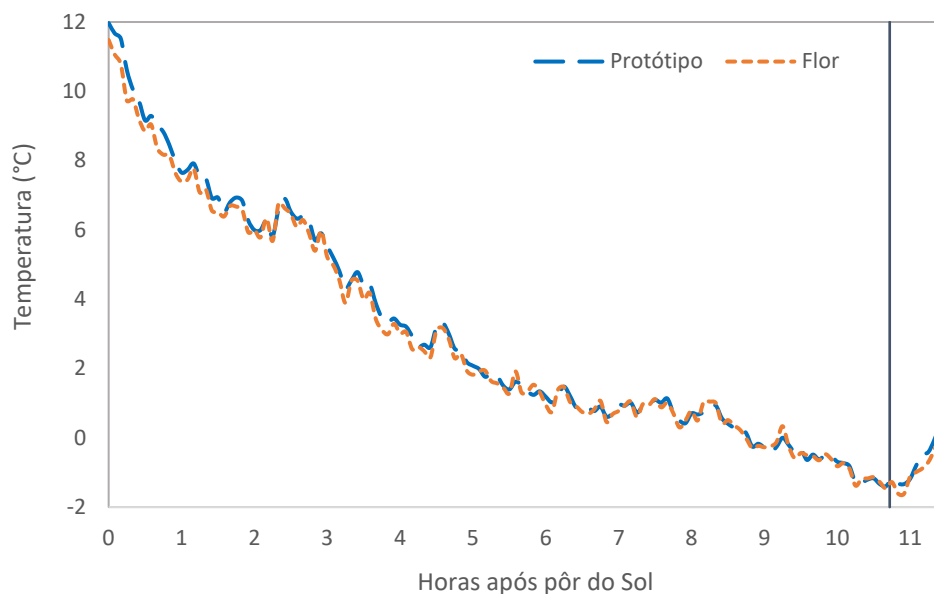


Figura 13 - Temperaturas registadas no protótipo e na flor. A reta vertical indica o nascer do sol.

Na Figura 14, encontram-se os valores das temperaturas dos protótipos e correspondentes valores de temperaturas das flores no conjunto de calibração do instrumento, usados para realizar a regressão ortogonal, pelo método de Deming, e obter a reta de calibração.

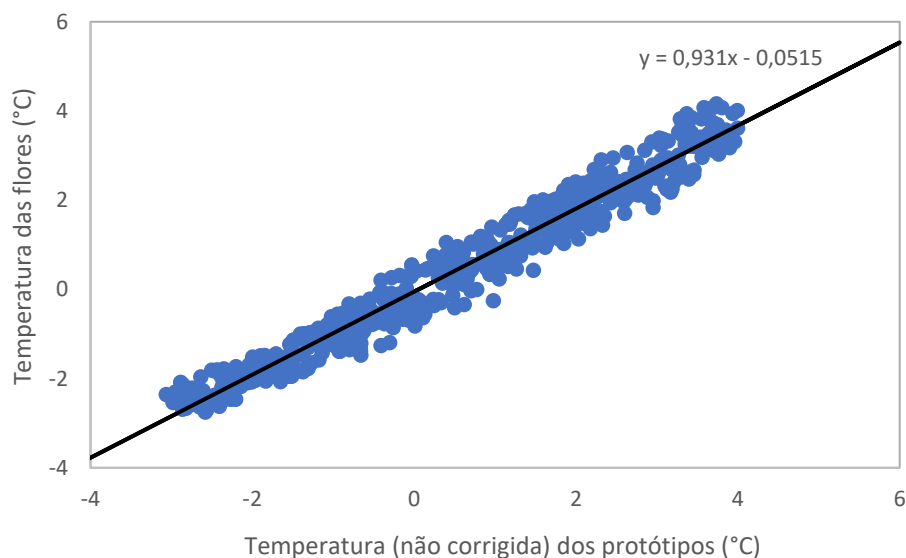


Figura 14 – Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, para obter a reta de calibração dos protótipos.

Os coeficientes presentes no Quadro 4, resultantes da regressão ortogonal dos dados representados na Figura 12, permitem construir a reta de calibração aí presente.

Quadro 4 - Análise da regressão ortogonal, pelo método de Deming, da temperatura da flor versus a temperatura do protótipo, no conjunto de calibração, para obtenção da reta de calibração.

	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>df</b>	<b>t stat</b>	<b>p-value</b>	<b>Limite inferior</b>	<b>Limite superior</b>
<b>Ordenada na origem</b>	-0,05154	0,01309	675	-4,54460	6,52E-06	-0,08516	-0,03377
<b>declive</b>	0,93102	0,00700	675	135,31670	0	0,93384	0,96134

Essa reta é usada para ajustar os dados das temperaturas dos protótipos, que permitem obter o gráfico da Figura 15.

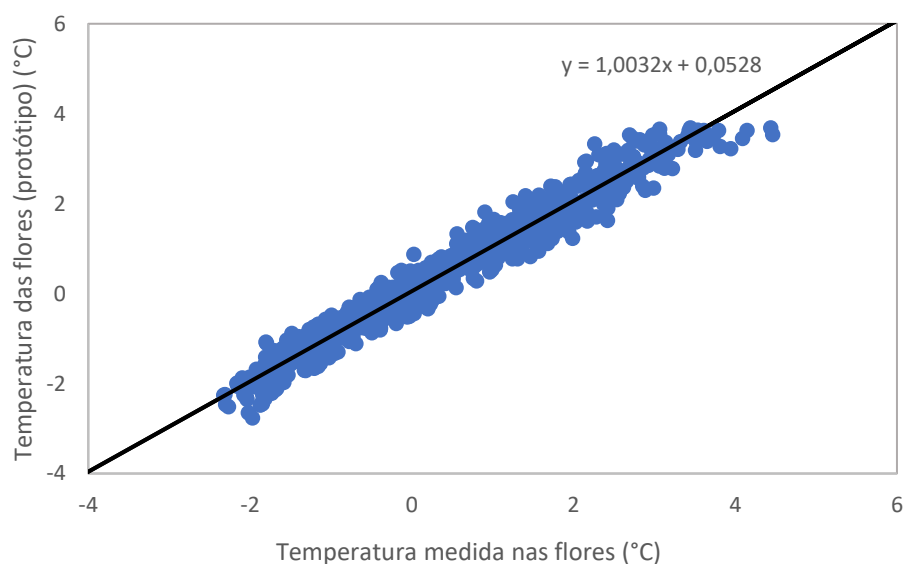


Figura 15 - Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, para avaliar a exatidão das medidas dos protótipos.

A regressão ortogonal dos dados da Figura 15, permite obter o Quadro 5, para a avaliação da exatidão das medidas dos protótipos.

Quadro 5 - Regressão ortogonal, para avaliação da exatidão das medidas dos protótipos.

	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>df</b>	<b>t stat</b>	<b>p-value</b>	<b>Limite inferior</b>	<b>Limite superior</b>
<b>Ordenada na origem</b>	0,05282	0,01089	787	4,84982	1,49E-06	0,03144	0,07419
<b>Declive</b>	1,00316	0,00865	787	115,93170	0	0,98617	1,02014

No Quadro 5, observa-se que o declive  $m = 1$ , que indica uma relação 1:1 das temperaturas das flores e das temperaturas corrigidas dos protótipos, se encontra dentro dos limites relativos ao intervalo de confiança de 95 %.

Esta observação pode ser confirmada pelo teste de hipóteses apresentado no Quadro 6. Como o  $p\text{-value} = 0,72$ , é maior do que  $\alpha = 0,05$ , não se pode rejeitar a hipótese nula, pelo que não se pode rejeitar que o declive da regressão seja igual a 1, para este nível de significância.

Quadro 6 - Teste de hipóteses para a reta de regressão ortogonal.

Teste	Parâmetro	Erro padrão	df	t stat	p-value	Limite inferior	Limite superior
Declive = 1	-0,00316	0,00865	787	-0,36477	0,71538	-0,02259	0,01628

O mesmo método foi utilizado para comparar as temperaturas dos protótipos e das flores, quando se verificou a temperatura mínima, do ar. Para isso, foi feita uma média das temperaturas registadas 15 minutos antes e 15 minutos depois desse instante, tendo-se obtido a representação da Figura 16.

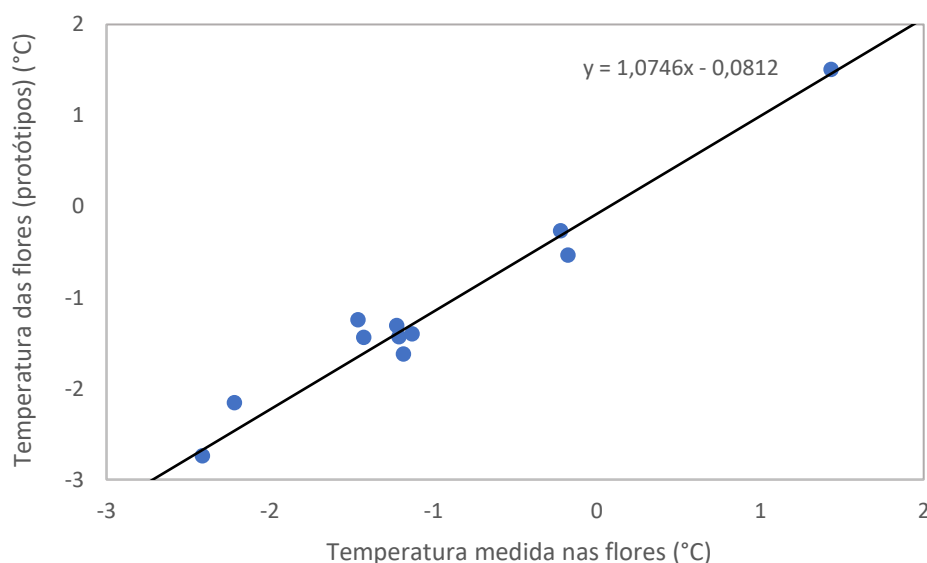


Figura 16 - Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, para avaliar a exatidão das medidas dos protótipos, à temperatura mínima.

Também à temperatura mínima, se obtém uma relação próxima de 1:1, pelo que o protótipo consegue estimar a temperatura das flores, neste caso.

Deste modo, pode concluir-se que o protótipo pode ser utilizados para estimar a temperatura à qual as flores se encontram ao longo da noite, tão bem quanto um termopar. Este facto apresenta a vantagem de facilitar a medição da temperatura das flores, já que permite instalar um instrumento no pomar, que irá medir a temperatura durante todo o período de interesse, sem necessidade de mudar periodicamente os termopares de flores.

### 4.3 Ar *versus* flor

Na Figura 17, observam-se os valores de temperatura registados na noite de 15 para 16 de Abril, na árvore 2, da temperatura do ar e da flor à mesma altura. Note-se que os termopares são muito finos, não há diferença entre as medições da temperatura do ar entre o termopar exposto e abrigado.



*Figura 17 - Temperaturas registadas na flor e no ar. A reta vertical representa o nascer do sol.*

Ao pôr do sol, as temperaturas da flor e do ar, foram 11,28 e 11,72 °C, respetivamente. Ao longo de toda a noite, as temperaturas registadas, apresentaram a mesma evolução. A temperatura da flor mantém-se inferior à temperatura da noite, e segue a evolução da temperatura do ar ao longo de toda a noite. A temperatura mínima, atingida aproximadamente 12 minutos após o nascer do sol, corresponde ao exposto por De Melo-Abreu (2018a).

Os dados das temperaturas do ar e das flores, representados na Figura 18, foram usados para fazer a regressão ortogonal, pelo método de Deming, cujos resultados se encontram no Quadro 7.

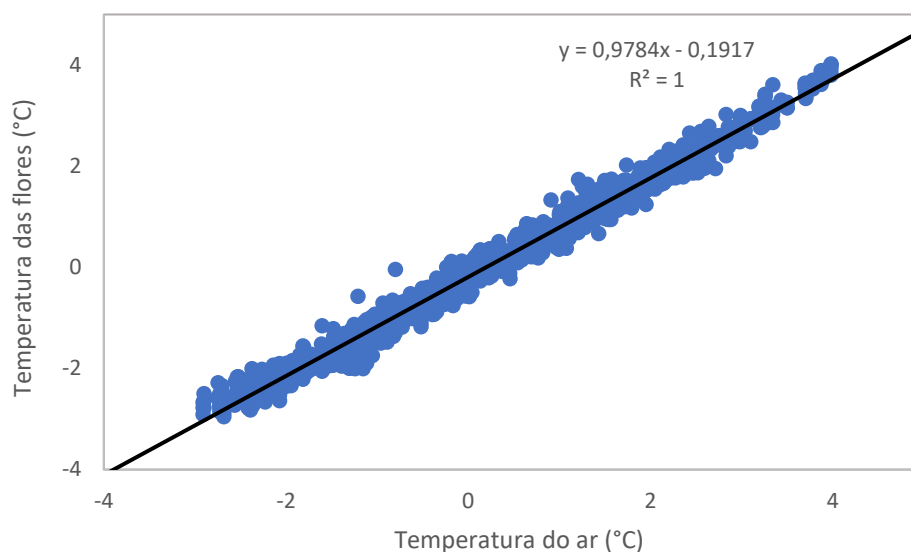


Figura 18 - Representação gráfica da regressão ortogonal, pelo método de Deming, da temperatura das flores versus a temperatura do ar.

A regressão ortogonal, indica um declive  $m = 0,98$  e uma interceção com o eixo das abcissas  $b = -0,19$ . Estes dados foram utilizados para fazer a representação gráfica da reta da regressão na Figura 18, onde se pode ver que as temperaturas se encontram bem sobrepostas à reta de regressão, confirmado pelo valor de  $R^2 = 1$ , que indica que a regressão explica perfeitamente, os valores das temperaturas da flores.

Quadro 7 - Análise da regressão ortogonal, pelo método de Deming da temperatura do ar versus a temperatura da flor.

	<b>Coeficientes</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>df</b>	<b>t stat</b>	<b>p-value</b>	<b>Limite inferior</b>	<b>Limite superior</b>
<b>Ordenada na origem</b>	-0,19174	0,00513	1423	-37,40990	7,2E-214	-0,20180	-0,18169
<b>Declive</b>	0,97840	0,00286	1423	341,6213	0	0,97279	0,98402

O Quadro 7, indica que para o nível de significância  $\alpha = 0,05$ , o intervalo de confiança não inclui o valor unitário do declive. O teste de hipóteses do Quadro 8, confirma que o declive da reta de regressão é significativamente diferente de 1, já que o *p-value* calculado é menor do que  $\alpha = 0,05$ . Deste modo, não se pode admitir que as temperaturas das flores e do ar, seguem uma relação de 1:1.

Quadro 8 - Teste de hipóteses para a reta de regressão ortogonal.

<b>Teste</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>df</b>	<b>t stat</b>	<b>p-value</b>	<b>Limite inferior</b>	<b>Limite superior</b>
<b>slope = 1</b>	0,02159	0,00286	1423	7,53943	8,37E-14	0,01517	0,02801

Estes resultados, apoiam o exposto por Landsber *et al.*, 1974, Hammer, 1980 e Quiñones *et al.*, 2019, que indicam que a temperatura dos gomos ou flores das plantas, em noites de geada de radiação, é inferior à do ar.

#### 4.4 Previsão da temperatura mínima

Introduzindo a temperatura do ar e do ponto de orvalho, 2 horas após o pôr do sol, relativamente às noites consideradas, e a temperatura mínima observada na manhã seguinte, na aplicação FFST.xls, obtém-se a equação para a estimativa da temperatura mínima no local em estudo:  $T_{est} = 0,264 \times T_{ar} + 0,266 \times T_o - 3,935$ , onde  $T_{est}$  representa a temperatura mínima estimada (°C) e  $T_o$  a temperatura do ponto de orvalho (°C).

Esta equação foi usada para estimar a temperaturas mínimas, e comparar essa estimativa, com as temperaturas mínimas registadas no pomar, resultando a Figura 19.

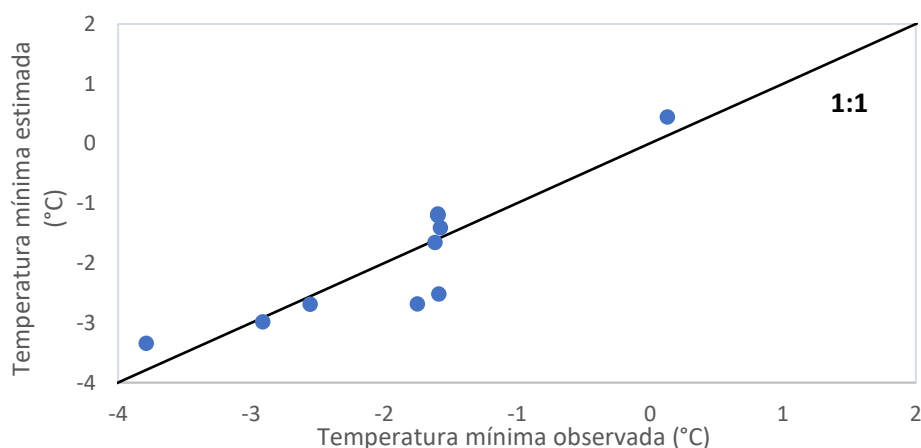


Figura 19 - Temperatura mínima estimada versus temperatura mínima observada, usando o modelo da aplicação FFST.xls.

Como é possível observar pelos dados do Quadro 9, a regressão linear entre as temperaturas mínimas estimadas e as observadas, apresenta uma relação muito próxima do 1:1 e a interceção próxima de 0. O valor de ME = 0,74, indica uma boa capacidade do modelo para prever as temperaturas mínimas no local em estudo.

Quadro 9 - Análise da regressão linear da temperatura mínima estimada, versus temperatura mínima observada.

m	b	$\bar{E}$	$\bar{O}$	R <sup>2</sup>	RMSE	ME
0,99	-0,01	-1,86	-1,86	0,79	0,48	0,74



Assim, esta equação poderá ser usada para prever as temperaturas mínimas, no local em estudo.

## 4.5 Previsão do curso da temperatura

Através do modelo de Goudriann e Van Laar, descrito em 3.10, procedeu-se à estimativa do curso da temperatura do ar, durante a noites selecionadas.

A calibração do modelo, resultou num valor de  $TC = 5,03$  h, em vez do valor de 4 h, preconizado pelos autores.

A aplicação do modelo calibrado, a cada uma das noites em estudo, pode ser observa na Figura 20. A sua análise visual, permite notar a boa aproximação dos valores estimados aos observados, excetuando na noite f), onde o arrefecimento noturno inicial, não se deu com a mesma rapidez que nas restantes noites.

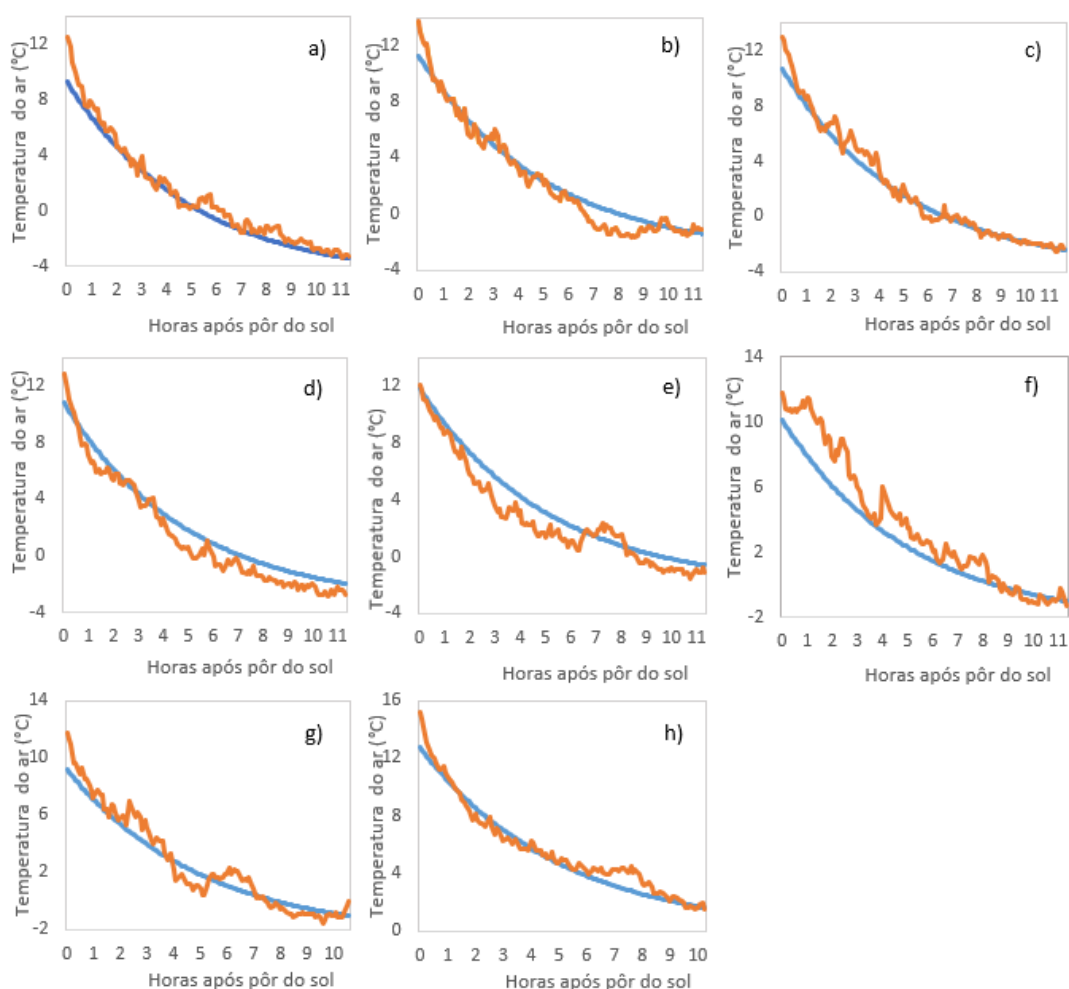
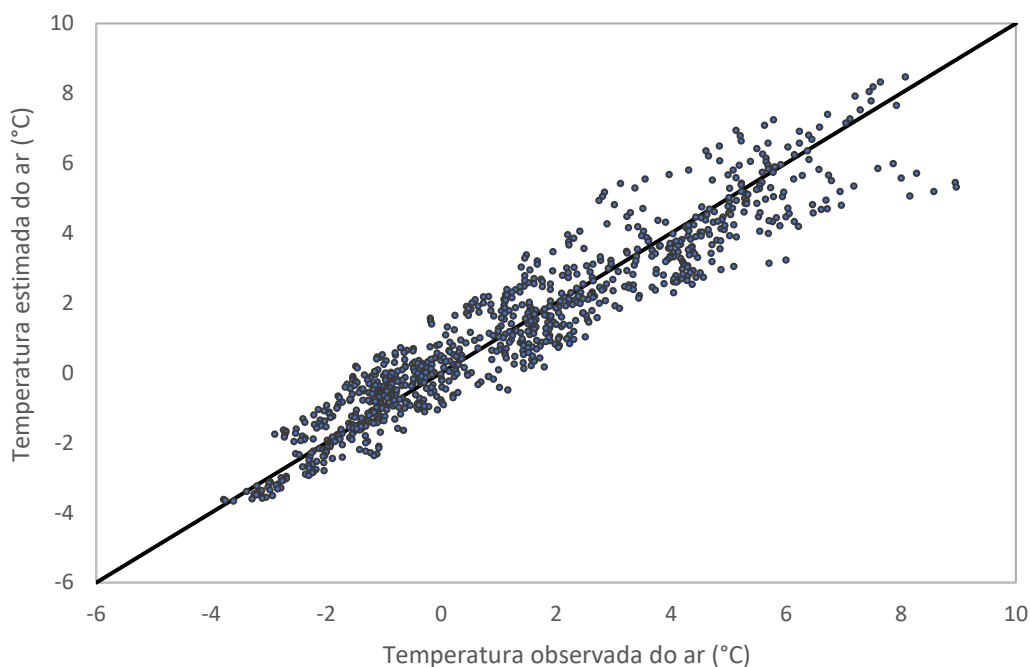


Figura 20 – Curso dos valores estimados (linha azul) e observados (linha laranja) da temperatura do ar, nas noites de: a) 21 Março, b) 22 Março, c) 28 Março, d) 29 Março, e) 30 Março, f) 11 Abril, g) 15 Abril, h) 3 Maio.

As observações dos cursos da temperatura na Figura 20, permitem perceber que o declive da curva é maior (em módulo) no início da noite e vai diminuindo, até chegar a zero, aquando da temperatura mínima. Assim, o decréscimo da temperatura é mais acentuado no início da noite.



*Figura 21 - Temperatura estimada do ar versus temperatura observada do ar, usando o modelo de Goudriann e Van Laar.*

Para analisar a qualidade do ajustamento do modelo, os dados das temperaturas estimadas e observadas nas noites consideradas, foram representados na Figura 21.

O modelo mostra um bom desempenho, evidenciado pela proximidade dos pontos à reta de declive  $m = 1$ . A análise da regressão linear, no Quadro 10, resulta num declive  $m = 0,91$ , próximo do valor ótimo de 1, e uma interceção com a origem,  $b = 0,13$  também ela próxima do valor ótimo de 0. O valor de ME, próximo do unitário, indica o ajuste perfeito do modelo para descrever o sistema real, pelo que o modelo em causa, pode ser utilizado para prever o curso da temperatura noturna, no local em estudo.

*Quadro 10 - Análise da regressão linear da temperatura estimada do ar, versus a temperatura observada do ar e da eficiência do modelo, em oito noites frias e com condições pronunciado arrefecimento noturno.*

M	b	$\bar{E}$	$\bar{O}$	$R^2$	RMSE	ME
0,91	0,13	1,25	1,23	0,90	0,83	0,92

## 4.6 Previsão e avaliação de prejuízos

A previsão de prejuízos foi realizada através da aplicação DEST. Dada a inexistência de dados históricos relativos ao clima do local em estudo, foram usadas as temperaturas registadas durante a duração do ensaio. Foram tidas em conta, as temperaturas críticas do Quadro 1. O cenário só tem em conta eventuais estragos que ocorram a partir da noite de 21 de Março, aquando da instalação do ensaio.

O resultado da previsão, presente no Quadro 11, indica que seria expectável que tivessem ocorrido danos, em 8,8 % das flores ou frutos, reduzindo a produção das 27,4 t/ha (produtividade sem qualquer estrago devido a geada), para as 25 t/ha. Este valor, tem em conta que não seria feita monda de flores/frutos.

*Quadro 11 - Previsão de estragos, de acordo com a aplicação DEST.*

Proteção	Estragos		Produtividade		Perda de produtividade	Benefício de produtividade	
	Média (%)	Desvio padrão (%)	Média (t/ha)	Desvio padrão (t/ha)	Média (t/ha)	Média (t/ha)	Desvio padrão (t/ha)
Nenhum	8,8	0,0	25,0	0,0	2,4	0,0	0,0
Método 1	0,0	0,0	27,4	0,0	0,0	2,4	0,0
Método 2	0,0	0,0	27,4	0,0	0,0	2,4	0,0
Método 3	0,0	0,0	27,4	0,0	0,0	2,4	0,0

Considerando o valor expectável de venda da maçã *Golden Delicious*, de 0,25 €/kg, um estrago de 8,8 % corresponderia a uma perda de 600 €/ha.

Considerou-se que os métodos de proteção 1, 2 e 3, confeririam uma proteção de 1, 2 e 3 °C, respetivamente. Assim, com apenas uma proteção de 1 °C, os estragos seriam completamente anulados e a produção corresponderia às 27,4 t/ha esperadas inicialmente.

No caso de a monda ser superior à percentagem de estragos, estes podem ser considerados como uma monda, tendo impacto nulo na produção esperada, não representando por isso, qualquer prejuízo.

Foi realizada uma previsão de estragos (Quadro 12), para uma variedade com início de floração 7 dias antes, da verificada para a variedade e local em estudo.

Quadro 12 - Previsão de estragos, de acordo com a aplicação DEST, numa variedade, com início de floração 7 dias mais cedo.

Proteção	Estragos		Produtividade		Perda de produtividade	Benefício de produtividade	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Média	Desvio padrão
	(%)	(%)	(t /ha)	(t /ha)	(t /ha)	(t /ha)	(t /ha)
Nenhum	27,4	0,0	20,6	0,0	6,8	0,0	0,0
Método 1	0,0	0,0	27,4	0,0	0,0	6,8	0,0
Método 2	0,0	0,0	27,4	0,0	0,0	6,8	0,0
Método 3	0,0	0,0	27,4	0,0	0,0	6,8	0,0

Mantendo as considerações relativas à monda e preço de venda da fruta, neste caso, verificar-se-ia um estrago potencial de 25% das flores ou frutos, que resultaria num decréscimo da produção, das 27,4 t/ha, para as 20,6 t/ha, representando um prejuízo de aproximadamente 1700 €/ha.

Apenas 1 °C de proteção, anularia todos os estragos verificados, evidenciando a importância dos métodos de proteção ativos.

A avaliação *in-situ* de estragos, foi realizada no dia 23 de Abril, após as noites de 11 e 15 de Abril, quando se registaram temperaturas mínimas de -1,6 °C. Foram recolhidas e abertas 25 flores, na tentativa de observar estragos no seu interior, o que não se verificou. Assim, não foi possível durante o ensaio, observar qualquer estrago nas flores, decorrente de geada.

## 5. Conclusões

Resultante do presente trabalho, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- Os resultados obtidos pela comparação das temperaturas registadas nos protótipos, após calibração, e nas flores, mostram que estas são semelhantes ao longo de toda a noite. O mesmo sucede, quando as mesmas temperaturas são comparadas aquando do registo da temperatura mínima em abrigo, altura em que as flores poderiam estar sujeitas a temperaturas mais propícias a causar estragos. Desse modo, conclui-se que o protótipo construído estima satisfatoriamente, a temperatura das flores, em noites de geada.
- No futuro, poderá ser estudada a possibilidade de substituir os termopares utilizados por outros termómetros como termístores, que, por gerarem uma força eletromotriz superior, facilitam a medição das temperaturas.
- Existe a possibilidade de usar um instrumento como este, para comandar com maior precisão, o início a paragem de métodos de proteção ativa, como ventiladores e aspersores.
- Verificou-se a existência de diferença entre as temperaturas medidas nas flores e no ar, embora sejam pequenas.
- Foi possível calibrar um modelo de previsão, para, 2 horas após o pôr do sol, prever com exatidão, a temperatura mínima verificada no local em estudo. Foi também calibrado o modelo de Goudriann e van Laar, para prever o curso da temperatura noturna. Estas duas ferramentas, são importantes para prever com alguma antecedência, a necessidade de empregar métodos de proteção ativa contra geada e de conduzir a proteção nas noites de geada.
- Os perfis verticais de temperatura construídos, mostram que a temperatura mínima, em noites de forte arrefecimento noturno, encontra-se aproximadamente ao nível médio da copa.
- Em estudos futuros, poder-se-iam instalar termopares a outras alturas, de maneira a construir um perfil mais detalhado, que incluísse toda a altura da copa, e que permitisse estudar melhor o início da inversão térmica, e a sua evolução durante a noite.
- Confirma-se que a precocidade da floração não é uma característica desejável para as cultivares que se destinam a locais geladiços.
- No contexto das alterações climáticas, é importante também, estudar a previsão de avanço da fenologia das culturas e as alterações na probabilidade de geada, de maneira a perceber o que se pode esperar quanto ao potencial risco futuro de geladura, em relação a culturas estabelecidas, ou a instalar.

## 6. Referências bibliográficas

Battany MC, 2012. Vineyard frost protection with upward-blowing wind machines. *Agricultural and Forest Meteorology* 157: 39-48.

Beyá-Marshall V, Herrera J, Santibáñez F, Fichet T, 2019. Microclimate modification under the effect of stationary and portable machines. *Agricultural and Forest Meteorology* 269-270: 351-363.

Campbell GS, Norman JM, 1998. *An introduction to environmental biophysics*. 2ª. Ed. Nova Iorque, NI, Estados Unidos da América: Springer.

Campbell Scientific, Inc., 2019. *AM25T. Solid-state thermocouple multiplexer. Product manual*. Logan, Utah: Campbell Scientific, Inc.

Charrier G, Ngao J, Saudreau M, Améglio T, 2015. Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science* 6: 259.

Crimp SJ, Gobbett D, Kokic P, Nidumolu U, Howden M, Nicholls N, 2016. Recent seasonal and long-term changes in southern Australian frost occurrence. *Climate Change* 139: 115-128.

De Melo-Abreu JP, 1985. *As geadas. Conceitos, génese, danos e métodos de proteção*. Lisboa, Portugal: Instituto Superior de Agronomia.

De Melo-Abreu JP, 2018a. *Agrometeorologia. Aplicação da meteorologia para maximizar a produção agrícola*. 1ª. Ed. Porto, Portugal: Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda.

De Melo-Abreu JP, 2018b. *Agrometeorologia. Aplicação da meteorologia para maximizar a produção agrícola*. [WWW document] URL <http://www.agroorbi.pt/livroagrometeorologia/Programas.html> [acesso 25 Maio 2019].

De Melo-Abreu JP, Ribeiro AC, 2010. Os danos da geada: conceitos, mecanismos e modelos de simulação. In: Figueiredo T, Ribeiro LF, Ribeiro AC, Fernandes LF, eds. *Clima e Meteorologia*. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança, 141-166.

De Melo-Abreu JP, Ribeiro AC, Monteiro AM, 2000. *Protecção das culturas contra as geadas*. DRATM Ministério da Agricultura.

De Melo-Abreu JP, Villalobos FJ, Mateos L, 2016. Frost protection. In: Villalobos J, Fereres E, eds. *Principles of agronomy for sustainable agriculture*. Gewerbestrasse, Switzerland: Springer, 443-458.

Dittus AJ, Karoly DJ, Lewis SC, Alexander LV, 2014. An investigation of some unexpected frost day increases in southern Australia. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal* 64: 261-271.

European Comission, 2019. Agricultural markets: dashboards and tariff rate quotas (TRQs).

Feddema JJ, 2005. A revised Thornthwaite-type global climate classification. *Physical Geography* 26: 442-466.

Goudriaan J, Van Laar HH. 1994, *Modelling potential crop growth processes: textbook with exercises*. Nova Iorque, NI, Estados Unidos da América: Springer

GPP. 2007. Maçã. [WWW document] URL <http://www.isa.utl.pt/files/pub/destaques/diagnosticos/Maca.pdf> [acesso 25 Maio 2019].

Grains Research & Development Corporation, 2016. The cost of frost – The cause and effect of frost on growing grain. [WWW document] URL [https://grdc.com.au/data/assets/pdf\\_file/0031/227659/grdc-the-cost-of-frost-fa.pdf.pdf](https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0031/227659/grdc-the-cost-of-frost-fa.pdf.pdf) [acesso 25 Maio 2019].

Guyot G, 1998. *Physics of the environment and climate*. 1ª. Ed. Eastergate, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd in association with Praxis Publishing Ltd.

Hammer PJC. 1980. An automatic sprinkler system giving variable irrigation rates matched to measured frost protection needs. *Agricultural Meteorology* 21: 281-293.

Hayhoe K, Doherty S, Kossin JP, Sweet WV, Vose RS, Wehner MF, Weubbles, DJ, 2018. Our changing climate. In: *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment, volume II*. Washington DC, Estados Unidos da América: U.S. Global Change Research Program, 72-144.

Heide OM, 1993. Daylength and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiologia Plantarum* 88: 531-540.

Janssen P, Heuberger P, 1995. Calibration of process-oriented models. *Ecological Modelling* 83: 55-66.

Jordan DN, Smith WK, 1995. Radiation frost susceptibility and the association between sky exposure and leaf size. *Oecologia* 103: 43-48.

Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F, 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263.

Landsberg JJ, Butler DR, Thorpe MR. 1974. Apple bud and blossom temperatures. *Journal of Horticultural Science* 49 (3): 227-239.

Leuning R, Cremer KW, 1987. Leaf temperatures during radiation frost part I. Observations. *Agricultural and Forest Meteorology* 42: 121-133.

Li X, Cai J, Liu F, Dai T, Cao W, Jiang D. 2014, Spring freeze effect on wheat yield is modulated by winter temperature fluctuations: evidence from meta-analysis and simulating experiment. *Journal of Agronomy and Crop Science* 201: 288-300.

Olszewski F, Jeranyama P, Kennedy CD, DeMoranville CJ, 2017. Automated cycled sprinkler irrigation for spring frost protection of cranberries. *Agricultural Water Management* 189: 19-26.

Pearcy RW, Ehleringer JR, Mooney HÁ, Rundel, PW, 1989. *Plant physiological ecology. Field methods and instrumentation*. 1<sup>a</sup>. Ed. Londres, Reino Unido: Chapman and Hall Ltd.

Poling EB, 2008. Spring cold injury to winegrapes and protection strategies and methods. *HortScience* 43(6): 1652-1662.

Potová V, Stepanek P, Zahradníček P, Soukup J, 2014. Potential impacts of climate change on damaging frost during growing season of vegetables. *Scientia Agriculturae Bohemica* 45: 26-35.

Quiñones AJP, Keller M, Gutierrez MRS, Khot L, Hoogenboom G, 2019. Comparison between grapevine tissue temperature and air temperature. *Scientia Horticulturae* 247: 407-420.

Ribeiro AC, De Melo-Abreu JP, Snyder RL. 2006. Apple orchard frost protection with wind machine operation. *Agricultural and Forest Meteorology* 141: 71-81.

Rodrigo J, 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees – morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae* 85: 155-173.

Salazar-Gutiérrez MR, Chaves B, Anothai J, Whiting M, 2014. Variation in cold hardiness of sweet cherry flower buds through different phenological stages. *Scientia Horticulturae* 172: 161-167.

Sgubin G, Swingedouw D, Dayon G, Cortázar-Atauri IG, Ollat N, Pagé C, van Leeuwen C, 2018. The risk of tardive frost damage in French vineyards in a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 250: 226-242.



Smith ED, 2019. Cold hardiness and options for the freeze protection of Southern Highbush Blueberry. *Agriculture* 9(1): 9.

Snyder RL, De Melo-Abreu JP, 2005. *Frost protection: fundamentals, practice and economics, Vol. 1*. Roma, Itália: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Tow and Blow, 2018. Horticultural Agricultural Air [WWW document] URL <https://towandblow.co.nz> [acesso 6 Agosto 2019].

Unterberger C, Brunner L, Nabernegg S, Steininger KW, Steiner AK, Stabentheiner E, Monschein S, Truhetz H, 2018. Spring frost risk for regional apple production under a warmer climate. *PLoS One* 13(7): e0200201.

Vanclay J, Skovsgaard JP, 1997. Evaluating forest growth models. *Ecological Modelling* 98 (1): 1-12.

Woodward F, Sheehy JE, 1983. *Principles and measurements in environmental biology*. 1ª. Ed. Londres, Reino Unido: Butterworth & Co (Publishers) Ltd.

Yazdanpanah H, Stigter CJ, 2011. Selective inverted sink efficiency for spring frost protection in almond orchards northwest of Isfahan, Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 105 (1): 27-35.

Yongguang H, Chen Zhao, Pengfei L, Amoah AE, Pingping L, 2016. Sprinkler irrigation system for tea frost protection and the application effect. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 9 (5): 17-23.

Yongguang H, Wenye W, De Melo-Abreu JP, Shapland TM, Hong Z, Snyder RL, 2015. Comparative experiments and effectiveness evaluation on vertical blowing fans (VBF) for frost protection. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8 (5): 36-42.

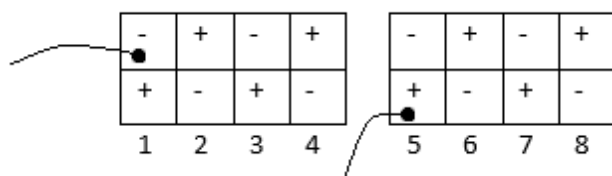
Zaiontz C, 2019. Real statistics using excel [WWW document] URL <http://www.real-statistics.com> [acesso 15 Setembro 2019].



## Anexo

**Anexo I – Esquema das ligações entre *data logger* e *multiplexer*.**

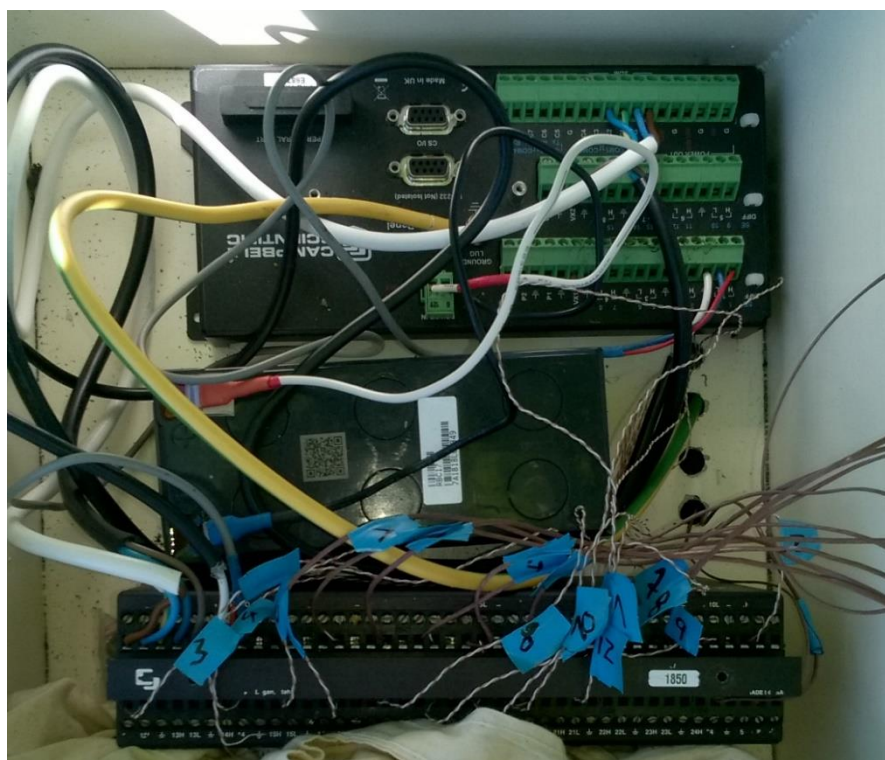
AM25T	CR1000	Condutor	
12V	12V	Branco	Castanho
G	G	Branco	Azul
CLK	C1	Preto	Verde/amarelo
RES	C2	Preto	Azul
UX	Vx2	Preto	Castanho
HI	1H	Cinzento	Vermelho
LO	1L	Cinzento	Malha



Fonte de alimentação  
pilhas Duracell

1	1,601 V	5	1,608 V
2	1,602 V	6	1,608 V
3	1,604 V	7	1,609 V
4	1,603 V	8	1,610 V

Associação em  
série  
12,81 V



## Anexo II – Calendário de operações realizadas durante o ensaio.

Março 2019						
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18 Instalação no pomar dos protótipos.	19	20	21	22	23 Colocação nas árvores, dos termopares para as flores.	24
25	26 Informação errada no canal 5 do multiplexer, corrigida com correta ordem na ligação dos fios do termopar.	27	28 Troca das pilhas. Colocação dos termopares nas flores.	29	30	31

# Abril 2019

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
1	2	3	4	5	6	7
8 Mudança dos termopares para novas flores. Substituição da sílica-gel. Correção da hora do <i>data logger</i> . Correção da ligação dos fios do canal 12 do <i>multiplexer</i> .	9	10	11	12	13	14
15 Mudança dos termopares para novas flores. Colocação de nova bateria.	16	17	18	19	20	21
22	23 Mudança dos termopares para novas flores. Substituição da sílica-gel. Avaliação de estragos nas flores.	24	25	26	27	28
29	30					

Maio 2019						
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13 Retirada de todo o material do ensaio.						